

Федеральный исследовательский центр информационных и
вычислительных технологий

XXI Всероссийская конференция
молодых учёных
по математическому моделированию
и информационным технологиям

Тезисы докладов

Алфавитный указатель участников

Новосибирск
7 – 11 декабря 2020 г.

УДК 004, 519.6
ББК 22.19, 32.81
Т29

Тезисы XXI Всероссийской конференции молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям. г. Новосибирск, Россия, ОНЛАЙН, 7 – 11 декабря 2020 г. — Новосибирск: ФИЦ ИВТ, 2020. — 51 стр.

Целью конференции является обсуждение актуальных результатов исследований молодых научных сотрудников, аспирантов и студентов старших курсов в области вычислительной и прикладной математики и информатики. Участие в конференции дает возможность молодым ученым получить представление о результатах исследований в области современного математического моделирования, вычислительных и информационных технологий, установить научные контакты, а также познакомиться с широким кругом проблем, представленных в докладах участников.

В рамках работы конференции представлены следующие тематические направления: математическое моделирование; численные методы и методы оптимизации; высокопроизводительные и распределённые вычисления; информационные и геоинформационные системы; Интеллектуальный анализ данных и задачи искусственного интеллекта; управление, обработка, защита и хранение информации; автоматизация и теория управления.

Организаторы конференции:

- ФИЦ информационных и вычислительных технологий
- Институт динамики систем и теории управления СО РАН
- Институт вычислительного моделирования СО РАН
- Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
- Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
- Новосибирский государственный технический университет
- Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Сайт конференции: <http://conf.nsc.ru/ym2020>

Ответственные за выпуск: Гусев О. И., Рылов С. А.

ISBN: 978-5-905569-16-6

© Федеральный исследовательский центр информационных
и вычислительных технологий, 2020

Программный комитет:

- академик Ю. И. Шокин (Новосибирск) — председатель
- академик И. В. Бычков (Иркутск) — заместитель председателя
- академик РАН М. П. Федорук (Новосибирск)
- чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин (Новосибирск)
- чл.-корр. РАН С. И. Смагин (Хабаровск)
- чл.-корр. РАН В. В. Шайдуров (Красноярск)
- профессор В. В. Москвичев (Красноярск)
- профессор В. П. Потапов (Кемерово)
- профессор В. М. Садовский (Красноярск)
- профессор М. В. Ульянов (Москва)
- профессор А. Н. Фионов (Новосибирск)
- д.ф.-м.н. Е. П. Гордов (Томск)
- к.ф.-м.н. И. Ю. Турчановский (Томск)
- к.ф.-м.н. Д. В. Есипов (Новосибирск)

Организационный комитет:

- к.ф.-м.н. Д. В. Есипов (Новосибирск) — председатель
- к.т.н. С. А. Рылов (Новосибирск) — секретарь
- к.ф.-м.н. А. В. Вяткин (Красноярск)
- к.ф.-м.н. О. И. Гусев (Новосибирск)
- к.т.н. Е. С. Фереферов (Иркутск)
- н.с. Ю. Н. Синявский (Новосибирск)
- м.н.с. П. В. Мельников (Новосибирск)
- м.н.с. С. Д. Сенотрусова (Новосибирск)
- м.н.с. П. К. Щербаков (Новосибирск)

Научные направления

1. Математическое моделирование

Направление посвящено разработке и исследованию математических моделей в задачах механики сплошной среды, физики, энергетики, медицины, экологии, природопользования и экономики. Особое внимание уделяется многомасштабным и комплексным «мультифизическим» моделям. Рассматриваются полученные с их помощью результаты.

2. Численные методы и методы оптимизации

Направление включает как теоретические, так и практические вопросы конструирования и исследования разнообразных численных методов и методов оптимизации. В частности, обсуждаются различные свойства методов, а также вопросы их применения при моделировании и проектировании.

3. Высокопроизводительные и распределённые вычисления

Направление посвящено практическим вопросам создания высокоэффективных алгоритмов, в том числе с использованием современных вычислительных средств и окружений. Особое внимание уделяется разработке параллельных алгоритмов решения задач на многопроцессорных компьютерах и с применением многоядерных и векторных ускорителей. Рассматриваются вопросы создания, отладки и тестирования алгоритмов распределённых вычислений и GRID-технологий.

4. Информационные и геоинформационные системы

Направление посвящено методам проектирования и практической реализации информационных и геоинформационных систем, разработки их новых типов. Обсуждаются вопросы, связанные с системами спутникового мониторинга, электронными библиотеками, распределёнными информационными системами. Затрагиваются вопросы обеспечения их надежного функционирования и безопасности.

5. Интеллектуальный анализ данных и задачи искусственного интеллекта

Направление посвящено методам выделения закономерностей в данных. Включает алгоритмы классификации, кластеризации, прогнозирования, распознавания образов, нейронные сети и др.

6. Управление, обработка, защита и хранение информации

Направление объединяет способы организации хранилищ информации и технологии обработки массивов данных, оптимизации структур данных, защиты данных, централизованного и распределённого их хранения. Особое внимание уделяется развитию методов работы с очень большими объемами данных (Big Data).

7. Автоматизация и теория управления

Направление включает вопросы, связанные с разработкой и усовершенствованием технических средств и методов измерения технологических параметров, программно-аппаратных систем, средств технического мониторинга и поддержки принятия решений. Обсуждаются связанные с этим задачи из области системного анализа, теории управления и принятия решений.

Содержание

Тезисы докладов	6
1. Вычислительные технологии	6
2. Информационно-вычислительные технологии	24
3. Информационные технологии	30
Алфавитный указатель участников	46

1. Вычислительные технологии

1.1. Астанина М.С. Трёхмерное моделирование нестационарных режимов конвективного теплопереноса в замкнутой наклонной полости с неравномерным нагревом вертикальной границы

Изучение процессов конвективного теплопереноса в трёхмерных постановках является перспективным направлением фундаментальных исследований в связи с большим количеством сфер промышленности для практического применения результатов — приборостроение, гражданское строительство, охлаждение электронных устройств.

В настоящей работе проводится математическое моделирование процессов конвективного теплообмена жидкости с переменной вязкостью внутри кубической наклонной полости с нагревом одной из вертикальных поверхностей по синусоидальному закону в зависимости от времени. Противоположная поверхность полости поддерживалась при постоянной низкой температуре, остальные грани считались теплоизолированными. В качестве рабочей жидкости рассматривалась ньютоновская теплопроводная жидкость, вязкость которой зависит от температуры по экспоненциальному закону, и для которой справедливо приближение Буссинеска [1]. Система определяющих уравнений формулировалась в безразмерных переменных «векторный потенциал — вектор завихренности — температура» и разрешалась методом конечных разностей на равномерной сетке. Предложенный метод решения краевой задачи был протестирован на модельных задачах и разных размерностях вычислительной сетки.

В результате были получены трёхмерные распределения поля температуры и компонент векторного потенциала в полости, а также зависимости среднего числа Нуссельта на вертикальных границах области. Было проанализировано влияние температурозависимой вязкости рабочей жидкости, неравномерного распределения температуры на боковой границе полости и угла наклона области на основные характеристики теплопереноса.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Министерства науки и высшего образования (проект № 0721-2020-0036).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шеремет М. А.

Список литературы

- [1] ASTANINA M. S., SHEREMET M. A., UMAVATHI J. C. Unsteady natural convection with temperature-dependent viscosity in a square cavity filled with a porous medium // *Transport in Porous Media*. 2015. Vol. 110. N. 1. P. 113–126.

1.2. Богданова А.В., Борисенко Д.А., Володько О.С. Представление решения двумерного уравнения теплопроводности в системе Maple

Для тестирования численных алгоритмов, применяемых при решении одномерных и двумерных задач переноса — диффузии, необходимо иметь набор тестовых задач и оптимальный вариант представления решения для использования в других программах: формулу, которая определяет решение в каждый момент времени и в любой точке пространства через элементарные или специальные функции. Это осуществимо в случае задачи Коши для одномерного уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial C}{\partial t} = a \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad C|_{t=0} = C_0(x), \quad (1)$$

где $t > 0$ время; x — пространственная переменная; $C(x, t)$ — неизвестная функция; $C_0(x)$ — функция, задающая начальное распределение температуры; $a > 0$ — постоянный коэффициент теплопроводности.

Известно, что решение задачи (1) находится по формуле [1]

$$C(x, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{C_0(\xi)}{2(\pi a)^{1/2}} e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4at}} d\xi.$$

Есть несколько начальных конфигураций, для которых этот интеграл берется через элементарные или специальные функции [2]. Например, если начальное распределение представляет собой «полочку» или функцию Гаусса и т.д. Так, если начальное распределение представляет собой равнобедренный треугольник с основанием $2l$ высоты b , то решение выражается через $erf(x)$ — функцию ошибки.

В случае двумерного уравнения

$$\frac{\partial}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

имеются две возможности обобщения результатов, полученных для одномерного случая:

1. В качестве решения уравнения (2) берется произведение одномерных решений по переменным x, y , тогда начальное распределение также представляет собой произведение начальных распределений одномерных задач и решение в двумерном случае выражается через элементарные и специальные функции. Для рассмотренного случая начальное распределение будет представлять собой пирамиду.
2. Ищется осесимметрическое решение, которое в полярной системе определяется согласно [1, 3]

$$C(b, r, l, a, t) = \frac{b}{2at} \int_0^l \xi C_0(\xi) e^{-\frac{r^2 + \xi^2}{4at}} I_0 \left(\frac{r\xi}{2at} \right) d\xi.$$

Для рассмотренного случая получаем начальное распределение в виде круглого конуса высоты b и радиуса l , а решение в любой момент времени задается интегралом

$$C(b, r, l, a, t) = \frac{b}{2at} \int_0^l \xi \left(1 - \frac{\xi}{l}\right) \cdot e^{-\frac{r^2 + \xi^2}{4at}} I_0\left(\frac{r\xi}{2at}\right) d\xi. \quad (3)$$

Интеграл не является табличным и есть несколько возможностей для его нахождения:

1. Численное интегрирование.
2. Разложение модифицированной функции Бесселя в ряд Тейлора и последующее интегрирование, которое дает в системе Maple бесконечный ряд

$$C(b, r, l, a, t) = \frac{b}{2at} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{r}{4at}\right)^{2k} \frac{e^{-\frac{r^2}{4at}}}{k!(k+1)} \cdot \left(\int_0^l \xi^{2k+1} e^{-\frac{\xi^2}{4at}} d\xi - \int_0^l \frac{\xi^{2k+2}}{l} e^{-\frac{\xi^2}{4at}} d\xi \right).$$

Интегралы выражаются через экспоненциальную функцию и функцию ошибки.

3. Разложение в (3) экспоненциальной функции в ряд Тейлора дает представление интеграла (3) в виде бесконечного ряда гипергеометрических функций.

Второй вариант представления решения более удобен для использования при тестировании численных алгоритмов.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Компаниец Л. А.

Список литературы

- [1] Полянин А. Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики / М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. 576 с.
- [2] Кузнецов Д. С. Специальные функции / М.: Высшая школа, 1962. 247 с.
- [3] Двайт Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / М.: Наука, 1966. 228 с.

1.3. Божеева Д.М., Дектерев А.А. Расчетное исследование аэродинамики крылового профиля

Актуальность данного исследования обусловлена активной разработкой беспилотных летательных аппаратов вертикального взлета и посадки с циклическими движителями. Циклический движитель содержит набор лопастей, которые в процессе работы совершают колебательные движения и вращение вокруг оси движителя. Важной задачей является оптимизация геометрии и кинематики движения лопастей движителя с целью улучшения их аэродинамических свойств и повышения тягово-энергетических

характеристик аппарата в широком диапазоне условий полета.

В работе представлены результаты расчетного исследования аэродинамического крылового профиля (лопасти), находящегося в набегающем турбулентном потоке и совершающего колебательные движения и вращение по круговой орбите. Для моделирования турбулентного потока в работе используется URANS подход, основанный на решении нестационарных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье—Стокса, замкнутых при помощи полуэмпирических моделей турбулентности SST $k - \epsilon$ и Transition SST. Для аппроксимации исходной системы дифференциальных уравнений основана на методе конечного объема с использованием схем второго порядка точности по пространству и времени. Расчетная модель реализована в пакете ANSYS FLUENT. На первом этапе была проведена серия расчетов с неподвижным крыловым профилем NACA0016 с различными углами атаки. Экспериментальное исследование этой задачи было выполнено в ИТПМ СО РАН в низкотурбулентной аэродинамической трубе Т-324. Анализ результатов моделирования показывает хорошие согласование коэффициентов подменной силы и силы сопротивления с экспериментом, выявлено, что модели турбулентности SST $k - \epsilon$ и Transition SST показывают близкие результаты.

Второй этап исследований посвящен анализу возможности моделирования колебания крылового профиля. Рассматривались режимы течения в широком диапазоне чисел Струхала (от 0.028 до 0.12) при двух числах Re (100000, 200000). Исходя из результатов расчетов первого этапа, мы выбрали SST $k - \epsilon$ модель турбулентности, так как при одинаковой точности она требует меньших вычислительных затрат. Результаты моделирования позволили правильно смоделировать аэродинамические характеристики крылового профиля в широком диапазоне характеристик набегающего потока и частотах колебания профиля.

На третьем этапе исследования было изучено обтекание крылового профиля NACA0016, движущегося по круговой траектории. В результате расчетов были получены поля скорости для углов атаки от 0 до 25. Результаты моделирования качественно сопоставлялись с данными PIV измерения поля. В результате работы была разработана и протестирована математическая модель для расчета аэродинамических характеристик крылового профиля, находящегося в набегающем турбулентном потоке и совершающего колебательные движения и вращение по круговой орбите. Показано, что выбранная модель хорошо описывает данные полученные в эксперименте.

1.4. *Вириц Р.А.* Неизотермическая фильтрация жидкости в почвогрунтах

Рассматривается процесс неизотермической фильтрации жидкости в деформируемой пористой среде. В основу математической модели положены уравнения сохранения массы для каждой из фаз, закон Дарси, реологическое соотношение, закон сохранения баланса сил и уравнение для температуры среды [1]. Вязкость пористой среды является функцией температуры [2]. В модельном случае жидкость считается несжимаемой. В полной постановке учитывается зависимость давления жидкости от плотности и температуры. В одномерном случае задача сводится к системе четырех уравнений для пористости, давления жидкой фазы, общего давления и температуры двухфазной среды. Особенностью рассматриваемой модели фильтрации жидкости является учет подвижности твердого скелета. В изотермическом случае задача исследовалась в работах [3, 4].

Предлагается неявная разностная дискретизация полученной начально-краевой задачи. В качестве пористой среды рассматриваются различные виды почвогрунтов. Исследовано влияние коэффициента проницаемости и сдвиговой вязкости грунта на характер поведения пористости. В ходе исследования выяснилось, что наиболее существенным фактором, оказывающим влияние на пористость грунтов, является их динамическая вязкость.

Актуальность исследования поставленной задачи связана с ее применением в решении таких задач, как ирригация и дренаж сельскохозяйственных полей, фильтрация вблизи плотин, водохранилищ и других гидротехнических сооружений.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации («Современные методы гидродинамики для задач природопользования, индустриальных систем и полярной механики» тема № FZMW-2020-0008)

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Папин А. А.

Список литературы

- [1] Fowler A. Mathematical geoscience / Springer Science & Business Media, 2011.
- [2] CONNOLLY J., PODLADCHIKOV Y. Temperature-dependent viscoelastic compaction and compartmentalization in sedimentary basins // Tectonophysics. 2000. Vol. 324. N. 3. P. 137–168.
- [3] PAPIN A., TOKAREVA M. On local solvability of the system of the equations of one dimensional motion of magma // J. Siberian Federal Univ. Mathematics & Physics. 2017. Vol. 10. N. 3. P. 385–395.
- [4] ВИРИЦ Р. А., ПАПИН А. А., ВАЙГАНТ В. А. Численное решение одномерной задачи фильтрации несжимаемой жидкости в вязкой пористой среде // Изв. Алтайского гос. ун-та. 2018. № 4 (102). С. 62–67.

1.5. *Гаврилова К.С.* Численное моделирование функционирования белковой сети p53 — Mdm2 — Wip1

Белок p53 (супрессор опухолей) являясь одним из главных регуляторов клеточного цикла и апоптоза, участвует в определении судьбы клетки. Регуляция уровня и активности белка p53 осуществляется благодаря сложной системе положительных и отрицательных циклов обратной и прямой связи, через которые с p53 взаимодействуют, в частности, его ингибиторы — белки Mdm2 и Wip1. Все три белка — p53, Mdm2 и Wip1 — известны как биомаркеры большинства видов онкологических заболеваний.

В докладе представлены результаты сравнительного анализа трех математических моделей функционирования системы p53 — Mdm2 — Wip1, характеризующихся разными уровнями биологической идеализации. Математические модели представляют собой нелинейные системы обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений с запаздывающими аргументами. Выполнена большая серия методических расчетов. Предложенные модификации моделей расширяют границы их применимости до состояний системы p53 — ингибитор, наблюдаемых в условиях рака и нейродегенерации.

В рамках принятых моделей в биологически значимом диапазоне решений и параметров найдены стационарные, периодические и квазипериодические режимы функционирования сети p53 — Mdm2 — Wip1, которые, по-видимому, могут служить иллюстрацией весьма тонкой организации ответа реальной биологической системы на стрессовые воздействия. Проведены серии численных экспериментов, направленных на анализ особенностей функционирования сигнального пути p53 под влиянием стрессового сигнала и терапевтического воздействия малыми молекулами.

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Воропаева О. Ф.

1.6. *Гарбузов Д.Н.* Исследование участка гидродинамического установления потока степенной жидкости в круглой осесимметричной трубе

В настоящее время данные о длине зоны стабилизации степенной жидкости представляют интерес для конструкторов и инженеров, разрабатывающих технологическое оборудование для переработки растворов или расплавов полимерных материалов. Сложность экспериментального измерения длины зоны гидродинамического установления (L_0) делает численное моделирование надежной альтернативой.

В работе проведено математическое моделирование ламинарного изотермического течения несжимаемой степенной жидкости в осесимметричной трубе радиусом R и длиной L , с целью исследовать

дования длины зоны гидродинамической стабилизации потока в окрестности входа от определяющих параметров задачи. Основой математической постановки задачи является система уравнений движения и неразрывности, записанных в безразмерном виде в цилиндрической системе координат. Реологическое поведение среды описывается законом Оствальда—де Вааля. Жидкость, подаваемая в трубу, характеризуется однородным профилем скорости, что определяет граничное условие во входном сечении. На выходе выполняются мягкие граничные условия. На стенках трубы используется условие прилипания, на оси — условие симметрии. Поставленная задача решается численно с использованием метода контрольных (конечных) объёмов и корректирующей процедуры SIMPLE [1].

В результате проведенных исследований установлена немонотонная зависимость длины зоны гидродинамической стабилизации потока от степени нелинейности (n). Показано, что результаты расчетов длины зоны гидродинамической стабилизации могут значительно отличаться друг от друга в зависимости от выбранной методики её определения. С уменьшением n до некоторого значения размеры зоны увеличиваются, а после начинают уменьшаться. Показано, что зависимость L_0 от числа Рейнольдса Re в диапазоне от 1 до 80 достаточно хорошо аппроксимируется линейной зависимостью. В области малых Re размеры зоны практически не изменяются.

Исследование выполнено за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-08-00412).

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Борзенко Е. И.

Список литературы

- [1] ПАТНКАР С. В. Численные методы решения задач теплообмена и механики жидкости / М.: Энергоиздат, 1988. 526 с.

1.7. Гоголадзе Д.З. Численное моделирование разрушения ледяной пластины на изгиб

Численное моделирование взаимодействия движущихся полей льда и гидротехнических сооружений является современным способом определения ледовых нагрузок. Данная область актуальна в связи с вектором развития арктического региона, где основным силовым фактором, воздействующим на морские сооружения и суда, является ледовая нагрузка.

Прочность льда на изгиб имеет важное значение среди параметров, влияющих на величину ледовой нагрузки. Однако, в настоящее время не существует оптимальной модели материала, достоверно описывающей физико-механические параметры льда, от которых на прямую зависит его прочность. Для верификации моделей материала, использу-

емых при моделировании, необходимо повторить реальный эксперимент по разрушению ледового образца в численной постановке и сравнить характеры его разрушения.

Данная задача выполнялась методом конечных элементов с возможностью их удаления (Element Erosion Technique) в программном комплексе ANSYS в явной динамической постановке.

Были приняты следующие модели материала, характеризующие поведение льда при деформации: модель пластичности Джонсона—Кука [1], описывающая закон достижения предела текучести, и модель разрушения при растяжении (Tensile Pressure Failure model) [2], являющаяся критерием разрушения материала. Моделировался метод определения прочности льда на изгиб при разрушении круглой, свободно лежащей на кольцевой опоре ледяной плиты, нагруженной по центру (испытание на центральный изгиб) [3]:

$$\sigma_f = -\frac{3P}{2\pi m h^2} \left[m + (m+1) \ln \frac{r}{r_0} - (m-1) \frac{r_0^2}{4r^2} \right], \quad (1)$$

где P — пиковая сила в момент разрушения образца льда, 0.205 кН; m — величина, обратная коэффициенту Пуассона и равная 3; h — толщина плиты, 16 мм; r — рабочий радиус плиты (внутренний радиус кольцевых опор), равный 6.2 см; r_0 — радиус распределения нагрузки («пятна» нагрузки), равный 0.5 см.

На основе полученного по формуле (1) значения прочности были подобраны параметры модели.

Картина разрушения показала разделение образца на три части, что свидетельствует об успешном завершении эксперимента и наблюдается в натурных испытаниях. Пиковая величина нагрузки при моделировании составляет $P = 0.27$ кН. Таким образом можно сказать об успешной верификации применяемых моделей материала.

Научный руководитель — д.т.н. Беккер А. Т.

Список литературы

- [1] МАКАРОВ О. А., БЕККЕР А. Т., ГОГОЛАДЗЕ Д. З. Анализ конститутивных моделей пластичности применительно к численному моделированию ледовых воздействий // Вест. Инженерной шк. ДВФУ. 2020. № 2 (43). С. 141–154.
[2] ANSYS Documentation. [Электронный ресурс]. URL: <https://ansyshelp.ansys.com/> (Дата обращения 22.11.2020).
[3] СТЕПАНЮК И. А. Технологии испытаний и моделирования морского льда / СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 77 с.

1.8. Гоголуш Т.С. Численное моделирование оптимальной эмболизации артериовенозной мальформации

Артериовенозная церебральная мальформация (АВМ) является сложным и опасным врожденным

пороком развития сосудов головного мозга. Наличие артериовенозного шунта с высокой скоростью кровотока и сброса крови из артериального в венозное русло, минуя капилляры, определяет патологию.

Наиболее предпочтительным методом лечения артериовенозных мальформаций является эмболизация — малоинвазивное хирургическое вмешательство, представляющее собой внутрисосудистое заполнение клубка патологических сосудов специальным эмболизирующим веществом. Данный способ хирургического вмешательства широко применяется, но до сих пор в некоторых случаях сопровождается интраоперационным разрывом сосудов мальформации (геморрагический инсульт). В связи с этим, моделирование процесса эмболизации АВМ является актуальной задачей. Целью работы является математическое моделирование процесса эмболизации и построение оптимизационного алгоритма.

Поскольку типичная АВМ состоит из большого количества взаимно пересекающихся сосудов малого диаметра, то она с достаточной точностью может рассматриваться как пористая среда. Процесс эмболизации моделируется как процесс двухфазной фильтрации несмешивающихся несжимаемых жидкостей, где вытесняемой фазой является кровь, а вытесняющей эмболизирующее вещество. Такой процесс в одномерном приближении описывается уравнением Баклея — Леверетта, которое решается численно с помощью монотонной модификации схемы Кабаре, обеспечивающей правильное описание распадов разрывов для уравнения с невыпуклой функцией потока [1]. Этот подход хорошо воспроизводит существенные особенности разрывных двухфазных течений, возникающих в задачах эмболизации [2].

Основная цель работы заключается в отыскании оптимального с точки зрения безопасности и эффективности сценария эмболизации артериовенозной мальформации. Целевой функционал и ограничения, возникающие в такой задаче оптимального управления, выбираются в соответствии с медицинскими показаниями. Управлением является зависящая от времени функция, определяющая объёмный расход эмболизирующего вещества на входе в АВМ. Сформулирована и для специального закона подачи эмболизирующего вещества решена задача оптимального управления эмболизацией с помощью модифицированного метода роя частиц.

При изучении задачи оптимальной эмболизации использовались клинические данные, полученные во время мониторинга гемодинамических параметров при проведении нейрохирургических операций в НМИЦ им. ак. Е. Н. Мешалкина [2, 3].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках гранта № 20-31-90096.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Черевко А. А.

Список литературы

- [1] OSTAPENKO V., CHEREVKO A. Application of the CABARET scheme for calculation of discontinuous solutions of the scalar conservation law with nonconvex flux // Dokl. Phys., Pleiades Publ. Ltd. 2017. Vol. 62. P. 470–474.
- [2] CHEREVKO A., GOLOGUSH T., PETRENKO I. ET AL. Modelling of the arteriovenous malformation embolization optimal scenario // Royal Society Open Science. 2020. Vol. 7. N. 7. P. 191992.
- [3] КНЕ А., СЕРЕВКО А., ШУПАКНИН А. ET AL. Monitoring of hemodynamics of brain vessels // J. Appl. Mech. Tech. Phys. 2017. Vol. 58. P. 763–770.

1.9. Голых Р.Н., Шалунов А.В., Хмельёв В.Н. Феноменологический подход к моделированию формирования структуры и характеристик систем со сплошной жидкой фазой под действием ультразвуковых колебаний

Проведённые исследования направлены на решение проблемы повышения энергетической эффективности ультразвукового кавитационного воздействия на системы со сплошной жидкой фазой для интенсификации физико-химических процессов.

Для решения проблемы предложен общий феноменологический подход, основанный на изучении физической сущности всех стадий преобразования энергии ультразвуковых колебаний в целевое изменение структуры и характеристик системы со сплошной жидкой фазой и определении фактического отношения затрат энергии на реструктуризацию межатомных и межмолекулярных связей в среде к введённой энергии ультразвукового воздействия.

В рамках общего подхода разработаны новые феноменологические модели, основанные на законах гидродинамики и физической кинетики и рассматривающие каждую стадию преобразования энергии ультразвукового кавитационного воздействия, начиная с излучения колебаний в озвучиваемую среду, заканчивая разрывом межатомных и межмолекулярных связей среды. В то время как ранее рассматривались лишь первые две стадии преобразования энергии (излучение колебаний и формирование кавитационных пузырьков), не изучая протекание целевых процессов (механодеструкция макромолекул, диспергирование или коагуляция частиц). Либо строились существенно упрощённые эмпирические модели.

Разработанные модели позволяют определить энергетическую эффективность воздействия для реализации процессов ультразвуковой механодеструкции макромолекул в сплошной жидкой фазе, диспергирования и коагуляции частиц в жидкости. Предложенные модели позволили определить оптимальные режимы (интенсивности

ультразвуковых колебаний), принципы формирования колебаний (способ модуляции колебаний — непрерывное синусоидальное воздействие или синусоидальные колебания, модулированные по амплитуде прямоугольными импульсами) и условия ультразвукового воздействия (геометрия озвучиваемой области с абсолютно упругими границами), обеспечивающие повышение КПД воздействия вплоть до двух раз по сравнению с неоптимальными режимами и условиями.

Расчёты энергетической эффективности реализованы в виде компьютерных программ с использованием итерационных методов решения операторных уравнений, основанных на теореме о неподвижной точке, для расчёта распределения звукового давления в среде с учётом влияния кавитации, методов Рунге — Кутты решения систем дифференциальных уравнений с адаптивным шагом по времени для расчёта кинетики изменения структуры и характеристик среды, а также полученных автором аналитических выражений для физических параметров среды.

Выявленные режимы и условия подтверждены экспериментальными исследованиями и рекомендуются к использованию при создании ультразвукового технологического оборудования.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Алтайского края в рамках научного проекта № 19-48-220014 «Физические основы глубокой очистки жидкостей от нежелательных примесей наложением акустических (ультразвуковых) волновых пакетов».

Научный руководитель — д.т.н. Шалунов А. В.

1.10. Данилова Н.Н. Численное решение автомодельной задачи внутренней эрозии

На сегодняшний день существует много задач связанных с процессом фильтрации подземных вод и внутренней эрозии грунта [1]. Как показали эксперименты (см., например, [2]), от таких параметров, как скорость фильтрации, пористость, суффозионная устойчивость грунта, а также напряженного состояния грунта и направления фильтрации [3], зависит интенсивность внутренней суффозии, а потому требуется тщательное теоретическое исследование процесса внутренней суффозии, разработка новых математических моделей и вычислительных алгоритмов.

В данной работе проведено численное исследование автомодельной задачи внутренней суффозии. Грунт моделируется как трехфазная сплошная пористая среда. Поры полностью заполнены смесью воды и подвижных твердых частиц. Псевдооживление частиц грунта не происходит если скорость не достигает критических значений. Математическая модель основана на законах сохранения массы и импульса. Система замыкается эмпирическим со-

отношением для давлений фильтрующихся фаз, являющимся следствием учета силы межфазного взаимодействия.

Для численного решения автомодельной системы используется метод Рунге — Кутта 4 порядка точности. Численный алгоритм решения системы реализован на языке C++ с использованием библиотеки Qt. Полученные результаты численного решения удовлетворяют физическому принципу максимума для концентрации воды и пористости грунта. В ходе решения задачи определяются: изменения пористости, концентрации и скорости подвижных частиц грунта, которые рассматриваются отдельной фазой. Расчёты проводились для трех грунтов с различной суффозионной устойчивостью.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания (номер темы FZMW-2020-0008).

Список литературы

- [1] HORIKOSHI K., TAKAHASHI A. Suffusion-induced change in spatial distribution of fine fractions in embankment subjected to seepage flow // Soils and Foundations. 2015. Vol. 55. N. 5. P. 1293–1304.
- [2] ПАПИН А. А., СИБИН А. Н. Проблемы математического моделирования внутренней суффозии грунта. АлтГУ. Препринт № 1/15. / Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2015. 32 с.
- [3] ПАПИН А. А., СИБИН А. Н. Модельное решение задачи поршневого вытеснения жидкостей в порупругой среде // Изв. Алтайского гос. ун-та. 2016. № 1 (89). С. 152–156.

1.11. Евсеева С.И. Имитационное моделирование адсорбции димеров на неоднородную поверхность металла методом Монте-Карло

Исследование механизмов адсорбции ненасыщенных углеводородов на высокоиндексные грани металлов в настоящее время вызывает большой интерес. Это связано с производством новых активных и высокоселективных промышленных катализаторов. Одним из важнейших вопросов катализа является взаимосвязь координированности активного центра с селективностью процесса [1]. Главной задачей проводимых экспериментов является создание потенциально меньшей энергией связи углерод-металл [2]. Известно, что поверхность реального катализатора отличается от идеальной наличием различного рода дефектов, самыми распространенными из которых являются структурные. Недавние исследования [3] показали, что наличие регулярных ступенек на твердой поверхности может вызвать существенное изменение в реакционной способности поверхности. Для изучения подобных систем идеально подходит модель решетчатого газа. Моделью простого углеводорода (C2–C3) и простейших его производных в данном случае может

служить классический димер с двумя ориентациями относительно поверхности, который может занимать один или два адсорбционных центра на поверхности. С учетом вышеизложенного целью данной работы является исследование влияния внешнего давления и температуры на структуру и термодинамические свойства адсорбционного слоя димеров (с учетом возможности двух различных ориентаций относительно поверхности) на грани (410) металла с г.ц.к. решеткой в рамках модели решетчатого газа, построенной с учетом ближайших и следующих за ближайшими латеральных взаимодействий с энергиями ϵ и ω соответственно, а также разницы между теплотами адсорбции сильных и слабых адсорбционных центров ($\Delta 1$) и между величинами теплот адсорбции π - и ди- σ -комплекса (Δ). Установлено, что при достаточно низкой температуре с увеличением внешнего давления чистая поверхность непрерывно заполняется адсорбирующимися молекулами, в результате чего формируются фазы, состоящие из чередующихся π - (при $\Delta \geq 0$) или ди- σ -комплексов (при $\Delta < 0$) и пустых центров на крайнем ряду террасы. Дальнейшее увеличение давления приводит к последовательному заполнению крайнего и двух средних рядов террасы π -комплексами. Независимо от величины Δ , ди- σ -комплексы не появляются. Моделирование проводилось с использованием методов Монте-Карло и трансфер-матрицы. Результаты, полученные различными методами, совпадают с точностью до погрешности методов (не более 1%). Таким образом, мы можем гарантировать, что термодинамические характеристики, вычисленные методом Монте-Карло, являются равновесными.

Список литературы

- [1] KRAVCHUK T., VENUGOPAL V., VATTUONE L. ET AL. Dynamics of Ethene Adsorption on Clean and C-Contaminated Cu(410) // The Journal of Physical Chemistry C. 2009. Vol. 113. N. 49. P. 20881–20889.
- [2] AJAYAN P. M. Nanotubes from carbon // Chemical Reviews. 1999. Vol. 99. N. 7. P. 1787–1800.
- [3] MAKINO T., OKADA M., KOKALJ A. Adsorption of C₂H₄ on stepped Cu (410) surface: A combined TPD, FTIR, and DFT study // The Journal of Physical Chemistry C. 2014. Vol. 118. N. 47. P. 27436–27448.

1.12. Ефимов Е.А. Математическая модель волновых полей, генерируемых импульсным сейсмоисточником

В данной работе описана вычислительная технология, разработанная для определения оптимальных режимов работы импульсного электромагнитного сейсмоисточника. Благодаря своей малогабаритности и простоте в транспортировке, источники такого типа применяются в труднодоступных для сейсморазведки местах, например, в тайге, тундре или районах с вечной мерзлотой.

Рассмотрим в качестве модели грунта среду

с плоскостной структурой с однородными и изотропными упругими слоями. Такое допущение позволяет перейти к двумерной осесимметричной задаче теории упругости. В основе численного алгоритма лежит метод двуциклического покомпонентного расщепления по пространственным переменным [1]. Одномерные задачи, полученные в результате процедуры расщепления, решаются методом распада разрыва С.К. Годунова с применением ENO (Essentially Non Oscillatory) реконструкции [2].

Были проанализированы различные режимы работы сейсмоисточника. Получены амплитудно-частотные характеристики и зависимости сейсмического КПД от глубины для грунтов с различными механическими характеристиками. Проведён расчёт радиуса плиты сейсмоисточника, при котором амплитуда волн в толще грунтового массива максимальна. Расчёты проведены на кластерах серии МВС Института вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск) и Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН (Москва).

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2020-1631).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Садовский В. М.

Список литературы

- [1] МАРЧУК Г. И. Методы расщепления / М.: Наука, 1988. 264 с.
- [2] SADOVSKAYA O. V., SADOVSKII V. M. Mathematical modeling in mechanics of granular materials / N.Y.; Dordrecht; London: Springer, 2012. 390 p.

1.13. Кайгородцева А.А. Новые модели накопления пластических деформаций в металлических сплавах, подверженных циклическому нагружению

Исследуются закономерности накопления необратимой деформации в сплаве ВТ6, под воздействием циклического нагружения с ненулевым средним напряжением. Анализируются экспериментальные данные о поведении материала в широком диапазоне нагрузок; рассматриваются сценарии циклического нагружения. Особое внимание уделено точному предсказанию форм петель гистерезиса и моделированию пластического разогрева.

Феноменологические модели пластического вышагивания (ратчетинга) близки к моделям ползучести при циклическом нагружении. Рассматриваются четыре различных феноменологических подхода к описанию поведения материала. Два из них учитывают нелинейное кинематическое упрочнение по типам Армстронг — Фредерик (Armstrong — Frederick), другие два — по типам Оно — Ванг (Ohno — Wang) [1]. Определяющие соотношения моделей реализованы в виде численных алгоритмов.

Калибровка моделей проведена на экспериментальных данных по накоплению деформации, валидация — по данным об эволюции температуры. Показано, что разработанные модели адекватно описывают как термоупругий эффект, так и диссипативный разогрев материала.

Показано, что предсказательная сила всех четырех моделей приблизительно одинакова. Обнаружено, что параметра Одквиста недостаточно для точного описания изотропного упрочнения в титановом сплаве ВТ6 [2]. Предложен новый скалярный параметр, который предсказывает изотропное упрочнение в зависимости от истории загрузки. Показано, что с использованием нового правила изотропного упрочнения резко повышается точность моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 19-19-00126).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шутов А. В.

Список литературы

- [1] OHNO N., WANG J. D. Kinematic hardening rules with critical state of dynamic recovery, part I: formulations and basic features for ratcheting behavior // Intern. J. Phys. 1993. Т. 9. P. 375–390.
- [2] KAYGORODTSEVA A. A., KAPUSTIN V. I., ZAKHARCHENKO K. V., SHUTOV A. V. On the ratcheting of the VT6 alloy in a range of loading scenarios // J. Phys.: Conf. Ser. (In print)

1.14. Ключанцев В.С. Нелокальные модели повреждаемости для моделирования возникновения и роста трещин

В работе рассмотрен вопрос построения вычислительной схемы, позволяющей получать сходящиеся решения при моделировании процессов накопления повреждаемости, сопровождаемых локализацией деформации. Моделирование твердых тел проведено в исследовательских пакетах метода сглаженных частиц [1, 2] и метода конечных элементов. Численно реализована упроговязкопластическая модель материала с повреждаемостью и нелинейным упрочнением; повреждаемость описывается скалярной пористостью [3]. Решены две демонстрационные тестовые задачи: моделирование полос сдвига при растяжении пластины, а также разрушение компактного образца.

Развит интегральный подход к делокализации модели [4]; делокализация проведена по параметру сплошности Ψ , двойственному к пористости. Рассмотрены как изотропные, так и анизотропные схемы делокализации. Показано, что применение интегрального подхода к делокализации позволяет получать физически осмысленные решения при мельче- ний дискретизации.

Обсуждаются вопросы повышения эффективности и устойчивости вычислений, включая введение демпфирования и подавление паразитических мод

по типу «песочные часы». Обнаружено хорошее соответствие между расчетами по методу сглаженных частиц и по методу конечных элементов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 19-19-00126).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шутов А. В.

Список литературы

- [1] SHUTOV A., KLYUCHANTSEV V. On the application of SPH to solid mechanics // J. Phys.: Conf. Ser: IOP. 2019. Vol. 1268. Index 012077.
- [2] SHUTOV A., KLYUCHANTSEV V. Solving elastoviscoplastic problems by smoothed particle hydrodynamics // AIP Conf. Proc. 2020. Vol. 2216. Index 030006.
- [3] SHUTOV A. V., SILBERMANN C. B., IHLEMANN J. Ductile damage model for metal forming simulations including refined description of void nucleation // Intern. J. Plasticity. 2015. Vol. 71. P. 195–217.
- [4] BAŽANT Z. P., JIRÁSEK M. Nonlocal integral formulations of plasticity and damage: survey of progress // J. Eng. Mechanics. 2002. Vol. 128. P. 1119–1149.

1.15. Макаров О.А. Моделирование лабораторных испытаний льда на одноосное сжатие

В данной работе выполнено численное моделирование лабораторных испытаний ледяных образцов на одноосное сжатие. Целью работы является верификация принятой методики моделирования ледяных массивов на предмет соответствия характера деформирования льда в модели и в натуре. Необходимость данного исследования связана с потребностью в точной оценке ледовых воздействий при проектировании и строительстве шельфовых сооружений в Арктической зоне Российской Федерации. Некоторые исследователи предпринимали попытки моделирования лабораторных испытаний различными численными методами и получили неоднозначные результаты [1, 2]

В текущем исследовании моделирование выполнено с использованием метода конечных элементов в программном комплексе SIMULIA Abaqus. Для корректного учета нелинейных свойств льда в процессе деформирования использовалась явная схема интегрирования уравнений движения с малыми шагами по времени. Для моделирования разрушения образцов в процессе нагружения использовался метод связующих элементов (cohesive element method), который является одним из способов моделирования разрушения сплошных сред.

Образцы льда для лабораторных испытаний были подготовлены путем отбора ледяных кернов в бухте Новик, расположенной недалеко от Дальневосточного Федерального Университета, с помощью керноотборника с последующей обработкой до нужной формы и размеров образцов.

Для рассмотрения нелинейных пластических свойств льда с изменяющимся пределом текучести

в зависимости от температуры, скорости деформации и давления принята модель пластичности Друкера — Прагера. Критерий текучести этой модели можно записать следующим образом:

$$F = t - p \tan \phi - c = 0,$$

где F — функция поверхности текучести; t — параметр материала, управляющий зависимостью поверхности текучести от величины промежуточного главного напряжения, Па; p — давление, Па; ϕ — угол трения материала, определяемый с помощью подхода, описанного в [3], град; c — сцепление материала, равное прочности льда на сдвиг, Па.

В результате моделирования получены следующие неоднозначные результаты.

1. С одной стороны, общий характер увеличения нагрузки при моделировании хорошо коррелирует с лабораторным экспериментом. Кроме того, максимальная сила не сильно отличается от полученной в эксперименте.
2. С другой стороны, при моделировании есть множественные колебания силы, хотя частота данных соответствует частоте регистрации силы прессы. Это может быть связано с особенностями контактного взаимодействия образца и плит.

Научный руководитель — д.т.н. Беккер А. Т.

Список литературы

- [1] Миряха В. А., Санников А. В., Бирюков В. А., Петров И. Б. Моделирование экспериментов по исследованию прочностных характеристик льда разрывным методом Галёркина // Математическое моделирование. 2018. Т. 30. № 2. С. 110–118.
- [2] Кюка S., TAKEUCHI T., KANIE S. Experimental and Numerical Study on the Impact Fracture Characteristics of a Sea Ice Floe against a Pile Structure // J. Japan Soc. of Civil Engineers. Ser. A2 (Applied Mechanics). 2013. Vol. 69. N. 2. P. 333–340.
- [3] МАКАРОВ О. А., БЕККЕР А. Т., ГОГОЛАДЗЕ Д. З. Анализ конститутивных моделей пластичности применительно к численному моделированию ледовых воздействий // Вест. Инженерной Шк. ДВФУ. 2020. № 2 (43). С. 141–154.

1.16. Митин К.А., Митина А.В., Бердников В.С. Влияние сопряженного теплообмена на развитие нестационарных пограничных слоев в модели тонкостенного топливного бака при угле наклона в 45 градусов

Численно в сопряженной постановке исследован нестационарный сопряженный конвективный теплообмен в прямоугольной полости при угле наклона в 45 градусов. Слой жидкости с числом Прандтля 25.66 находится в полости с тонкими металлическими или низкотеплопроводными стенками. Внешняя поверхность нижней стенки внезапно нагревается, внешняя поверхность верхней стенки поддер-

живается при исходной температуре. Решалась система уравнений нестационарной термогравитационной конвекции в приближении Буссинеска в безразмерном виде.

Изучена эволюция конвективных течений и полей температуры после внезапного подвода тепла под основание бака. Рассчитаны поля температуры в жидкости и в стенках бака. Показано, что сопряженный теплообмен оказывает существенное влияние на процессы потери устойчивости пограничных слоев на наклонных стенках, сценарии развития осциллирующих течений и спектры пульсации температуры на внутренней поверхности бака. При низкотеплопроводных стенках хорошо видны процессы развития и потери устойчивости пограничных слоев на нижней и верхней стенке. При металлических стенках на эти процессы накладываются низкочастотные колебания, зарождающиеся в нижней левой и верхней правой области бака. В обоих случаях наблюдаются пульсации температуры на поверхности твердых стенок, проникающие в стенки. Однако при металлических стенках амплитуда пульсаций значительно ниже за счет высокой теплопроводности стенок и интенсивного кондуктивного теплообмена в ней. Показано, что теплопроводность стенок заметно влияет на пространственную форму конвективных течений и на закономерности сопряженного конвективного теплообмена.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИТ СО РАН (III.18.2.5, Гос.Рег. АААА-А17-117022850021-3, III.22.7.1, Гос.Рег. АААА-А17-117022850027-5) и при частичной поддержке РФФИ (проект № 19-48-540003 р_а).

1.17. Митина А.В., Митин К.А., Бердников В.С. Численное моделирование сопряженного свободноконвективного теплообмена разогреваемого электрическим током стержня с окружающей средой в трехмерной постановке

Нестационарный сопряженный свободноконвективный теплообмен вертикального стержня с внутренними источниками тепла можно рассматривать как простейшую модель реактора водородного восстановления кремния (метод Сименса). Численно методом конечных элементов в трехмерной постановке с помощью пакета программ собственной разработки проведено исследование нестационарного сопряженного теплообмена разогреваемого электрическим током кремневого стержня с окружающей средой в режиме свободной конвекции. Моделирование проводилось на базе системы уравнений Навье — Стокса в приближении Буссинеска — Обербека, приведенной к безразмерному виду. Использовался бипольный подход, произведена постановка векторного потенциала поля скорости и завихренности скорости. В результате у системы уравнений исключается давление и обходится условие

Ладыженской — Бабушки — Бреции и численное моделирование может проводиться с использованием линейных базисных функций.

Расчетная область представляет собой вертикальный цилиндр с безразмерным радиусом 1 и высотой 5, заполненный газом, с помещенным внутрь соосным стержнем радиусом 0.2, на поверхности которого выбрана контрольная точка, в которой с помощью динамического подбора напряжения поддерживается безразмерная температура равная 1. Торцы цилиндра теплоизолированы, боковая поверхность цилиндра поддерживается при безразмерной температуре равной 0. На всех жестких поверхностях в системе заданы условия прилипания и непротекания. Значения компонент вихря на жестких поверхностях вычисляются из поля скорости с прошлой итерации посредством конечноэлементной интерполяции частных производных.

Исследование произведено в диапазоне чисел Рэлея от 10 000 до 300 000. Получены поля температуры внутри твердого стержня и в газе, поля скорости в газе. Показано, что под воздействием свободноконвективного теплообмена, в результате формирования холодного течения в придонной области, натекающего на основание стержня, стержень разогревается существенно неоднородно. Показано, что при выбранной геометрии области и в рассматриваемом диапазоне чисел Рэлея пространственная форма конвективных течений остается осесимметричной. Это позволяет произвести более подробное параметрическое исследование в осесимметричной двухмерной постановке.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИТ СО РАН (III.18.2.5, Гос.Рег. АААА-А17-117022850021-3).

1.18. Мухортов А.В. Применение специальных законов сгущения сеток для численного решения задач с особенностями на примере погранслоя

В работе рассмотрено численное решение задачи течения вязкого газа над плоской пластиной, помещенной в сверхзвуковой поток под нулевым углом атаки. Решались двумерные уравнения Навье — Стокса, для различных чисел Рейнольдса Re с применением специальных адаптивных сеток, сгущающихся в зонах быстрого изменения решения. Объектом исследования являлись численные расчеты течения газа с использованием специальных адаптивных сеток, предложенные Бахваловым [1], Шишкиным [2] и Лисейкиным [3].

В серии экспериментов проведен анализ некоторых характеристик численных решений (значение и порядок погрешности, значение скачка решения и порядок скачка решения) и сделаны выводы о преимуществах и недостатках, а также допустимости использования каждого закона сгущения для нахождения численного решения данной задачи.

Расчеты численного решения производились разработанным в ИТПМ СО РАН расчетным кодом на языке Fortran [4] с использованием многопроцессорных ЭВМ. Расчеты производились до установления стационарного решения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-01-00231).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Лисейкин В. Д.

Список литературы

- [1] Бахвалов Н. С. Об оптимизации методов решения краевых задач при наличии пограничного слоя // Журн. вычисл. математики и мат. физики. 1969. Т. 9. № 4. С. 841–859.
- [2] Шишкин Г. И. Численное решение эллиптических уравнений с малым параметром при старших производных // Докл. АН СССР. 1979. Т. 45. № 4. С. 804–808.
- [3] LISEIKIN V. D. Grid generation for problems with boundary and interior layers / Novosibirsk: NSU, 2018. 296 p.
- [4] Кудрявцев А. Н. Вычислительная аэродинамика сверхзвуковых течений с сильными ударными волнами: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. ИТПМ СО РАН, Новосибирск, 2014. 337 с.

1.19. Никитин В.Ф., Смирнов Н.Н., Скрылева Е.И., Фахретдинова Р.Р. Математическое моделирование процесса очистки трещины гидравлического разрыва

Гидроразрыв пласта — один из наиболее эффективных методов интенсификации нефтедобычи. Технология осуществляется в несколько этапов. Сразу после создания трещины гидроразрыва, чтобы избежать ее закрытия, в трещину закачивают жидкость гидроразрыва вместе с пропантом, который не дает трещине схлопнуться. После усадки трещины наступает этап очистки, в ходе которого важно правильно произвести вытеснение жидкости гидроразрыва из трещины. От успеха этого этапа во многом зависит смысл проведения самого гидроразрыва.

В данной работе представлена двумерная математическая модель процесса очистки трещины гидроразрыва от жидкости гидроразрыва нефтью. Рассматривается пятиточечная система разработки: четыре нагнетательные скважины по углам и одна добывающая в центре. В центре около добывающей скважины расположена симметричная трещина гидроразрыва с пропантом. Трещина моделируется как область повышенной пористости и проницаемости. Предполагается, что некоторая часть жидкости гидроразрыва утекла в окружающий пласт. Вытеснение моделируется на основе закона Дарси с учётом капиллярных эффектов. Для построения относительных фазовых проницаемостей используется модель Брукса — Кори. Все вычисления проводились на двух суперкомпьютерах:

АПК-5 и МВС-10П ОП. При этом учитывались характеристики доступных ресурсов конкретной кластерной системы и особенности программы. В частности, было использовано только крупнозернистое распараллеливание, когда задача запускается с разными параметрами на разных узлах.

В работе рассматриваются несколько вариантов геометрии трещины и области вокруг нее, заполненной жидкостью гидроразрыва. С помощью численного моделирования на основе построенной математической модели устанавливается взаимосвязь между качеством очистки трещины гидроразрыва и геометрическими параметрами трещины и области заполненной жидкостью гидроразрыва.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-07-00513).

1.20. Паскарь С.Ю. Диффузия идеального газа в конденсированных средах с флуктуирующими свойствами

В классическом определении диффузией называют перемешивание компонентов вещества, возникающее при наличии перепада их концентраций. Известно, что на микроскопическом (молекулярном) уровне причиной диффузии является хаотическое движение индивидуальных частиц, которое на макроуровне приводит к возникновению направленного течения компонентов смеси [1].

Универсальность диффузионных законов весьма широка. Примеры таких процессов разнообразны по своей природе и проявлению. К диффузионным моделям приводят различные физические и не обязательно физические задачи: одни и те же диффузионные уравнения описывают поведение нейтронов в ядерном реакторе, курса ценных бумаг на финансовой бирже и частиц цветочной пыльцы, взвешенных в жидкости [2]. В основе этой универсальности лежит центральная предельная теорема (ЦПТ) теории вероятности, утверждающая, что сумма большого количества независимых одинаково распределённых случайных величин, имеющих конечную дисперсию, стремится к нормальному распределению. Существует класс явлений, обусловленных случайными процессами, в которых нарушаются некоторые условия применимости ЦПТ.

Случайный перенос частиц в среде, не подчиняющийся классическим диффузионным законам, принято называть «аномальной диффузией», и в зависимости от скорости протекания она бывает двух типов: субдиффузия и супердиффузия. Одним из возможных следствий процесса такой диффузии является нарушение линейности в зависимости среднеквадратического смещения от времени [3]. Такие процессы начали активно исследоваться лишь в последней четверти прошлого века, причём проблема остаётся актуальной и по настоящее время. На данный момент обнаружено множество физических примеров «аномальной диффу-

зии». Следует отметить, что эти примеры весьма разнообразны по своей физической природе и проявлению.

В современных моделях для описания миграции вещества в реальных средах рассматривают неоднородные системы с фрактальной геометрией [4]. Под определение таких систем хорошо подходит пористая геологическая среда с флуктуирующими свойствами. Данное исследование посвящено моделированию таких нелинейных закономерностей переноса газа в сложных системах.

Математика задачи случайных блужданий в процессах миграции газов позволяет нам оперировать как коэффициентом диффузии, определённом законами Фика, так и основными физическими параметрами диффундирующих атомов. Такой подход позволяет изучать явление из поиска ответа на вопрос, какова конденсированная система, в инструмент для изучения термодинамики и механизма переноса самого газа.

Предложена физико-математическая модель аномальной диффузии идеального газа в конденсированной среде. Целью исследования является получение выражения для аномальной диффузии неустойчивого, химически неактивного газа для конденсированных сред, разработка численного метода решения и реализация модели в программной среде. Новизна модели заключается во введении ранее не применяемых параметров, характеризующих флуктуирующие свойства газа и среды. В качестве объекта исследования рассмотрен инертный газ радон который хорошо подходит под определение идеального, благодаря явлению распада надёжно регистрируется на поверхности и в глубине Земли экспериментально. Кроме того, явление радиоактивного распада вводит в задачу естественный масштаб времени. Ввиду химической инертности радон относительно легко покидает кристаллическую решётку «родительского» минерала и попадает в подземные воды, природные газы и воздух.

Результаты моделирования должны объяснить наиболее вероятные причины возникновения явления аномальной диффузии в геологических средах. Наиболее долгоживущим из четырёх известных природных изотопов радона является ^{222}Rn , именно его содержание в этих средах максимально. Этим обоснован выбор для этого изотопа. В работе показано апробирование модели на примере прохождения данного инертного газа в почве. Получены зависимости объёмной активности радона ($\text{кБк}/\text{м}^3$) от глубины (до 8 метров) с применением различных значений параметров аномальности и «шума» среды. Анализ результатов моделирования позволяет выдвинуть гипотезу о колебательной природе явления аномальной диффузии газа в неоднородной конденсированной среде.

Список литературы

- [1] Попов П. В. Учебное пособие по курсу Общая физика / М.: МФТИ, 2016. 94 с.
- [2] Учайкин В. В. Автомодельная аномальная диффузия и устойчивые законы // УФН. 2003. Т. 173. № 9. С. 847–876.
- [3] Булавин Л. А. Компьютерное моделирование компьютерных систем / Д.: Интеллект, 2011. 354 с.
- [4] МЕРЕР Х. Диффузия в твёрдых телах / Д.: Интеллект, 2011. 536 с.

1.21. *Перехрест В.Д., Хоров Д.В.* Построение многочленов устойчивости для методов высоких порядков

Известно, что функцией устойчивости явных методов [1] является многочлен. Соответственно, расположение корней многочлена устойчивости влияет на размер и форму области устойчивости. В свою очередь, эффективность алгоритма интегрирования при расчете жестких задач зависит от области устойчивости явного метода.

При построении методов более высокого порядка у наиболее часто применяемых методов высокого порядка области устойчивости достаточно малы, хотя известно, что чем больше количество стадий имеет метод, тем длиннее интервал устойчивости. Поэтому Новиковым Е. А. была предложена схема построения методов [2], коэффициенты которых связаны с многочленами устойчивости. В этой связи в работе рассматривается алгоритм построения многочленов устойчивости для создания методов более высокого порядка.

Таким образом, реализован алгоритм, который позволяет строить области устойчивости методов более высокого порядка. Данный алгоритм был реализован на языке программирования C++ в среде Qt с применением библиотеки высокой точности QD [3]. Описано влияние задаваемых параметров алгоритма на размер и форму области устойчивости. Это позволило определить наиболее оптимальные параметры, учитывающие различное поведение решений задач. В работе построены многочлены устойчивости для методов 4–6 порядков с различной формой: более вытянутой вдоль отрицательного направления действительной оси, что обеспечение наибольшей длину интервала устойчивости, и «прижатой» в мнимой оси — для задач, решение которых носит осциллирующий характер, а значит спектр собственных чисел матрицы Якоби системы может иметь комплексные компоненты.

Научный руководитель — Рыбков М. В.

Список литературы

- [1] Новиков Е. А. Явные методы для жестких систем / Новосибирск: Наука, 1997. 197 с.
- [2] Новиков Е. А., Рыбков М. В. Численный алгоритм построения многочленов устойчивости методов первого порядка // Вест. Бурятского гос. ун-та. 2014. № 9 (2). С. 80–85.

- [3] HIDA Y., LI X.Š., BAILEY D.H. Quad-double arithmetic: algorithms, implementation, and application // Proc. 15th IEEE Symp. on Comp. Arithmetic. 2000. P. 155–162.

1.22. *Рожкова Е.И.* Метод Ван Лиры для решения задач высокоскоростного течения газа

Уравнения сохранения Эйлера, описывающие нестационарное течение сжимаемого невязкого газа, являются основными в газовой динамике, однако решение требуют больших вычислительных затрат. В данной работе рассмотрена и проверена одна из наиболее эффективных схем решения задач высокоскоростного течения газа, схема Ван Лиры.

Математическая постановка задачи описывается системой уравнений Эйлера в одномерном пространстве. Рассмотрена труба длиной L , объёмы газов в трубе с заданными термодинамическими параметрами разделены перегородкой. В момент времени $t = 0$ перегородка мгновенно убирается, и произвольный разрыв распадается на несколько разрывов, изменение потоков \mathbf{F} при этом можно найти с помощью метода Ван Лиры. Суть метода основана на расщеплении вектора потока \mathbf{F} на положительную и отрицательную составляющие вектора \mathbf{F} . Используются выражения для нахождения потоков, сформулированные Ван Лиром [1].

Для решения задачи была написана программа с начальными условиями: $L = 1$, точка $x = 0.5$ соответствует положению разделительной перегородки, $T = 300$ К, числу Куранта присвоено значение 0.4. Полученные распределения плотности, скорости и давления были сравнены с решениями задачи Сода, Лакса и задачи о сверхзвуковой трубе из [2].

В задаче Сода газ слева и справа от перегородки в начальный момент времени покоится, слева — плотность и давление равны единице, справа — плотности присвоено значение 0.125, давлению — 0.1. В результате разрыва образуются область контактного разрыва, ударная волна и волна разрежения.

В задаче Лакса начальные условия: слева — газ неподвижен, плотность равна 0.5, давление — 0.571, справа — плотности соответствует значение 0.445, скорости — 0.698, давлению — 3.528. Образуется контактный разрыв, ударная волна и волна разрежения с меньшей интенсивностью, чем в задаче Сода. Здесь наблюдается большой перепад параметров, чем в предыдущей задаче.

В задаче о сверхзвуковой трубе газ слева и справа неподвижен, слева плотности и давлению присвоено значение единицы, справа плотность и давление равны 0.02. Здесь формируется область сверхзвукового течения.

Полученные решения задачи о сверхзвуковой трубе претерпевают разрыв даже в случае выбора ма-

лых расчетных ячеек. В связи с этим для решения этой задачи требуются схемы более высоких порядков. Подобное в задачах Сода и Лакса не наблюдается — решения задач Сода и Лакса соответствовали решениям из [2]. Соответственно, выбранный метод решения позволяет разрешать задачи с дозвуковыми течениями.

Планируется использование расчетной схемы для решения задач газовой динамики в двухмерной постановке.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента МК-421.2020.8.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Моисеева К. М.

Список литературы

- [1] VAN LEER B. Flux-Vector Splitting for the Euler Equation // Lect. Notes in Phys. 1982. Vol. 170. P. 507–512.
- [2] Булата П. В., Волков К. Н. Одномерные задачи газовой динамики и их решение при помощи разностных схем высокой разрешающей способности // Науч.-техн. вест. информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 4. С. 731–740.

1.23. Салтыков И.Е. Платформа OpenFOAM в задачах численного моделирования размыва несвязного грунта

На сегодняшний день задача оценки величины размыва грунта имеет большую практическую значимость при проектировании и эксплуатации морских или речных сооружений. В последние годы активно проводятся различные исследования этих вопросов, как с помощью лабораторных [1] и полунатурных физических экспериментов, так и с применением методов математического моделирования [2].

В работе [2] представлены результаты большого количества экспериментальных и численных исследований размыва несвязного грунта вблизи основания платформы «Приразломная». В работе [1] проведено обширное экспериментальное исследование размыва слоистого несвязного грунта вблизи основания ветряной турбины. В работе [3] проведено сравнение некоторых методологий расчёта профиля размыва слоистых грунтов.

В настоящей работе для расчёта величины размыва несвязного грунта и движения жидкости, используется открытая платформа OpenFOAM, состоящая из набора библиотек, предоставляющих базовую функциональность для реализации численных методов и решения дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных объёмов. Посредством интеграции с платформой, был разработан набор программ позволяющих моделировать процесс размыва несвязного грунта в трёхмерных областях. Интеграция позволяет воспользоваться всеми преимуществами комплекса, среди которых возможность использования большого количества

моделей турбулентности, а также возможность параллельного расчёта с использованием стандарта MPI, что позволяет более качественно исследовать рассматриваемое явление.

В качестве численной модели размыва несвязного грунта используется модель, описанная в работе [4]. Для моделирования движения жидкости используется алгоритм PISO. В работе были проведены тестовые расчёты задач размыва вокруг цилиндрической сваи, куба, модели платформы.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Иванов К. С.

Список литературы

- [1] PORTER K. E. Seabed scour around marine structures in mixed and layered sediments. PhD Thesis, London: Univ. College, 2016. 388 p.
- [2] ZAKHAROV Y., GAYDAROV N., IVANOV K. ET AL. Numerical and experimental studies of soil scour near foundations of platforms // Advanced Technologies of Hydroacoustics and Hydrophysic. 2014. P. 239–241.
- [3] HARRIS J. M., WHITEHOUSE R. S., SUTHERLAND J. Scour assessment in complex marine soils. An evaluation through case examples // Proc. Intern. Conf. on Scour and Erosion. California, 2010. P. 450–459.
- [4] BRORS B. Numerical modeling of flow and scour at pipelines // J. Hydraul. Eng. 1999. P. 511–523.

1.24. Семисалов Б.В., Брындин Л.С., Беляев В.А., Горынин А.Г. Численный анализ стационарных течений полимерной жидкости и его верификация

Исследование макроскопической динамики растворов и расплавов полимерных материалов с учётом их микроструктуры представляет фундаментальную проблему современной науки, имеющую прямое отношение к созданию новых материалов с заданными реологическими свойствами, а также к развитию технологий экструзии, печати и напыления для производства полимерных изделий. Возможность учёта ориентации, размеров и других свойств макромолекул полимера при моделировании таких процессов может быть реализована благодаря применению мезоскопического подхода [1]. Однако строгий математический анализ разрешающих нелинейных уравнений мезоскопических моделей наталкивается на существенные затруднения. Для поиска их решений необходима разработка и верификация специальных вычислительных алгоритмов, учитывающих особенности исследуемых процессов.

В данной работе использована мезоскопическая модель, полученная на основе реологических соотношений Покровского—Виноградова [2] и описывающая стационарные неизотермические течения несжимаемой вязкоупругой полимерной жидкости в канале с эллиптическим сечением. Для численного решения уравнений модели разработаны три алгоритма, использующие принципиально разные подходы к построению приближённых решений:

- метод коллокации и наименьших квадратов [3], основанный на кусочно-полиномиальных приближениях и решении переопределённых систем алгебраических уравнений;
- метод конечных элементов, использующий слабые постановки и методы решения систем с большими разреженными матрицами;
- нелокальный метод без насыщения [4], основанный на переходе в эллиптическую систему координат, применении глобальных интерполяций и решении матричных уравнений типа Сильвестра.

Корректность работы алгоритмов проверена при решении тестовой задачи. Разработанные алгоритмы использованы для численного анализа течений полимерной жидкости в широком диапазоне параметров. Сопоставление результатов работы алгоритмов демонстрирует их высокую точность и свидетельствует о том, что решение исходной нелинейной проблемы действительно существует и рассчитано верно. Проведён анализ особенностей уравнений модели и предложены подходы, позволяющие повысить быстродействие и точность разработанных методов за счёт учёта таких особенностей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-71-00071).

Научные руководители — д.ф.-м.н. Блохин А. М., д.ф.-м.н. Голушко С. К., д.ф.-м.н. Шапеев В. П.

Список литературы

- [1] Алтухов Ю. А., Гусев А. С., Пышнограй Г. В. Введение в мезоскопическую теорию текучести полимерных систем / Барнаул: Изд-во АлтГПА, 2012. 121 с.
- [2] Блохин А. М., Семисалов Б. В. Расчёт стационарных неизотермических МГД течений полимерной жидкости в каналах с внутренними нагревательными элементами // Сиб. журн. индустр. матем. 2020. Т. 23. № 2. С. 17–40.
- [3] SHARBEV V., GOLUSHKO S., BRYNDIN L., BELYAEV V. The least squares collocation method for the biharmonic equation in irregular and multiply-connected domains // IOP Conf. Ser.: J. Phys.: Conf. Ser. 2019. Vol. 1268. N. 012076. P. 012076-1–012076-7.
- [4] СЕМИСАЛОВ Б. В. Нелокальный алгоритм поиска решений уравнения Пуассона и его приложения // Журн. выч. математики и мат. физики. 2014. Т. 54. № 7. С. 1110–1135.

1.25. Сенотрусова С.Д. Применение минимальных математических моделей к анализу терапевтического потенциала р53-зависимых микроРНК на основе лабораторных данных

Опухолевый супрессор р53 участвует в определении судьбы клетки и активируется в ответ на повреждение ДНК, которое может быть вызвано окислительным стрессом, радиацией и химиотерапевтическими препаратами. Одна из основных функций

этого белка — препятствовать размножению неполноценных клеток через запуск программ регуляции клеточного цикла, старения и апоптоза. Нарушение функционирования белка р53 может привести к сбою в регуляции клеточного цикла и развитию дегенеративных заболеваний, характеризующихся чрезмерным накоплением в организме дефектных клеток или, наоборот, массовой преждевременной клеточной смертью. При нормальном функционировании надёжную и точную реакцию экспрессии гена р53 на клеточные сигналы обеспечивает сложная система положительных и отрицательных циклов обратной и прямой связи, через которые с р53 взаимодействуют, в частности, его ингибиторы — белки Mdm2, Wip1 и SIRT1, а также многочисленные семейства микроРНК (miR). Однако роли участников рассматриваемой системы белков до конца не изучены и требуют подробного исследования, в том числе средствами математического моделирования.

Работа посвящена практическому использованию минимальных математических моделей динамики сигнального пути р53 для количественного описания достаточно широкого круга лабораторных экспериментов, в которых взаимодействие р53 и белков-ингибиторов р53 опосредуется микроРНК, образующими с р53 петлю положительной обратной связи. Представлены новые минимальные модели, алгоритм численного решения прямых и обратных коэффициентных задач и результаты сопоставления полученных численных решений с экспериментальными данными о динамике уровней белков р53, р21, Вах, белков-ингибиторов Mdm2, Wip1, Sirt1 и различных miR (miR-16, miR-34a, miR-192, miR-194, miR-215, miR-221) в условиях стрессовых воздействий. С привлечением полученных математических моделей продемонстрированы основные механизмы и особые режимы функционирования сигнального пути р53 в условиях, приближенных к условиям конкретных лабораторных экспериментов *in vitro* и *in vivo*. Показано, что р53-зависимые микроРНК могут играть одну из центральных ролей в повышении эффективности терапевтических стратегий, связанных с управлением процессом активации р53-зависимого апоптоза.

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Воронаева О. Ф.

1.26. Скибина Н.П., Фарапонов В.В. Численное исследование обтекания пары тел сверхзвуковым потоком газа

Изучение аэродинамических процессов, протекающих при групповом движении объектов, является комплексной задачей, для решения которой необходимо совместное использование экспериментальных, аналитических и численных подходов. В сверхзвуковой аэродинамике процесс обтекания нескольких тел встречается достаточно часто — при функ-

ционировании многоствольных артиллерийских систем, разделении объектов ракетно — космической техники на траектории полета, разрушении тел при движении на высоких скоростях. В то время как динамика полета одиночного тела хорошо изучена, случаи группового полета рассматриваются значительно реже и отличаются разнообразием картин течения в зависимости от условий движения [1–3].

Исследования сверхзвуковых течений при движении группы тел на удалении друг от друга относятся к актуальным задачам газодинамики, ввиду того, что детальный анализ их структур важен для объяснения явления аэродинамической интерференции, оценки тепловых эффектов и прогнозирования величин возникающих сил и моментов.

В данной работе представлено численное решение задачи обтекания пары тел вращения одинаковой формы сверхзвуковым потоком газа с числами Маха $M = 2$ и $M = 5$. Экспериментальные исследования, результаты которых используются для проверки адекватности выбранной математической модели процесса, проведены на импульсной аэродинамической установке ТГУ. Граничные условия для расчета идентичны условиям в зоне стационарного течения в рабочей части установки, где располагается сборка, состоящая из исследуемых тел, державок и устройства для крепежа.

Описание процесса обтекания тела вращения потоком вязкого теплопроводного газа производится путем решения системы осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье — Стокса методом конечных объемов. В качестве модели турбулентности выбрана полумпирическая модифицированная SST модель Ментера. Расчетная сетка состоит преимущественно из элементов в форме гексаэдров. Пограничный слой разрешается, выполняется закон стенки.

Решение задачи проведено в два этапа: на первом рассмотрено обтекание двух сфер радиусом 6 мм, на втором — два цилиндрических тела со сферической головной частью. Результаты математического моделирования согласуются с данными проведенных экспериментальных исследований и информацией из литературных источников.

В ходе работы получено детальное описание формирующихся при групповом полете тел ударно-волновых структур и выявлены некоторые особенности влияния граничных условий на качественную составляющую результатов математического моделирования [4, 5].

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания № 0721-2020-0036.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Фарапонов В. В.

Список литературы

- [1] Звегинцев В. И. Газодинамические установки кратковременного действия. Ч. I. Установки для научных исследований / Новосибирск: Параллель, 2014. 551 с.
- [2] Скибина Н. П., Савкина Н. В., Фарапонов В. В. и др. Комплексный подход к решению задачи высокоскоростного обтекания тела в импульсной аэродинамической установке и проверка согласованности полученных результатов // Вест. Томского гос. ун-та. Математика и механика. №. 59. С. 118–129.
- [3] Скибина Н. П. Математическое моделирование газодинамических процессов в импульсной аэродинамической установке и расчет некоторых параметров потока в рабочей части // Вычисл. технологии. 2019. Т. 24. № 5. С. 8–48.
- [4] Ковалев П. И., Менде Н. П. Альбом сверхзвуковых течений / СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 251 с.
- [5] Златин Н. А., Мишин Г. И. Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях / М.: Наука, 1974. 344 с.

1.27. Соловарова Л.С. О коллокационно-вариационном подходе для численного решения квазилинейных и нелинейных дифференциально-алгебраических уравнений

Рассматриваются нелинейные дифференциально-алгебраические уравнения (ДАУ)

$$F(x'(t), x(t), t) = 0, t \in [0, 1],$$

где $x(t)$ и $F(\cdot)$ имеют одинаковую размерность. Предполагается, что $\det(\partial F(y, x, t)/\partial y) \equiv 0$, начальное условие $x(0) = x_0$ согласовано, т.е. система нелинейных уравнений $F(y, x_0, 0) = 0$ имеет решение. Также предполагается, что решение рассматриваемой проблемы существует, единственно и $F(\cdot)$ дифференцируемо достаточное число раз по совокупности аргументов.

Такие уравнения описывают прикладные задачи из энергетики, кинетической химии и других областей. Численное решение даже линейных случаев наталкивается на существенные трудности, например, применение многих известных методов может породить неустойчивый процесс (см, напр., [1]). Для численного решения нелинейных ДАУ предлагается вариант коллокационно-вариационного подхода, основанный на идеях из [2] (решение специальной задачи математического программирования). Приведены результаты численных расчетов, которые демонстрируют перспективность данного подхода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-01-00643).

Список литературы

- [1] KUNKEL P., MEHRMANN V. Differential-algebraic equations: Analysis and numerical solution / Zurich: European Mathematical Society, 2006. 192 p.
- [2] Булатов М. В., Горбунов В. К., Мартыненко Ю. В., Нгуен Д. К. Вариационные подходы к численному решению дифференциально-алгебраических уравнений // Вычисл. технологии. 2010. Т. 15. № 5. С. 3–14.

1.28. Тагильцев И.И. Моделирование неупругого поведения преднапряженных композитов в геометрически точной постановке

Многие важные для практики композиты являются преднапряженными структурами; типичными примерами являются биологические мягкие ткани, такие как мышцы, связки и кровеносные сосуды, и инженерные структуры, включающие в себя шины, пневматические подвески и сварные конструкции. В данной работе анализируется вычислительно эффективный подход к моделированию материала в рамках гипотезы Фойгта, подразумевающий однородность деформации в рассматриваемом элементарном объеме; это позволяет вычислять напряжения в композитном материале как сумму напряжений, даваемых его составляющими, не учитывая их микроструктурное взаимодействие.

Работа посвящена применению так называемого \mathbf{F}_0 -подхода к моделированию начальных напряжений. Основная идея подхода состоит в введении двух отсчетных конфигураций: ненапряженной и разгруженной; конфигурации связаны отображением \mathbf{F}_0 . Важной частью процедуры является правильная трансформация начальных условий наряду с геометрическими пре- и пост-процессорами. Естественным образом учтены большие деформации, что означает работу в геометрически нелинейной постановке. Предлагаемый подход хорошо сочетается с мультипликативным разложением тензора градиента деформации. В частности, показано, что введение начальных напряжений с помощью \mathbf{F}_0 -подхода не увеличивает сложности используемых вычислительных схем [1].

Предлагаемый метод внедрён в конечно-элементный комплекс MSC.MARC. Решены следующие демонстрационные задачи: моделирование (1) преднапряженных кровяных сосудов, рассматриваемых как многослойный композит, армированный волокнами, и (2) сварных металлических конструкций. Вычислительно эффективные численные схемы, позволяющие проводить безитерационное интегрирование эволюционных уравнений материала, применяются для моделирования неупругого поведения как армированных волокон композитов [2, 3] так и металлов [4]. Продемонстрирована применимость \mathbf{F}_0 -подхода, что показывает его полезность в анализе структур со сложной геометрией.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-19-00126).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шутов А. В.

Список литературы

- [1] TAGILTSEV I., SHUTOV A. Geometrically nonlinear modelling of pre-stressed viscoelastic fibre-reinforced composites with application to arteries // Biomechanics and Modeling in Mechanobiology. 2020.
- [2] TAGILTSEV I. I., LAKTIONOV P. P., SHUTOV A. V. Simulation of fiber-reinforced viscoelastic structures subjected to finite strains: multiplicative approach // Meccanica. 2018. Vol. 53. N. 15. P. 3779–3794.
- [3] SHUTOV A. V., TAGILTSEV I. I. Efficient numerics for the analysis of fibre-reinforced composites subjected to large viscoplastic strains / In: H. Altenbach, A. Öchsner (Eds.) State of the Art and Future Trends in Material Modelling. Advanced Structured Materials. Vol. 100. Cham: Springer, 2019. P. 367–380.
- [4] SHUTOV A. V. Efficient implicit integration for finite-strain viscoplasticity with a nested multiplicative split // Computer Methods in Applied Mechanics and Eng. 2016. Vol. 306. P. 151–174.

1.29. Удалов А.С. Моделирование систем трещин методом разрывных смещений повышенного порядка точности

Наличие микродефектов в любых материалах ведет к необходимости пересмотра и улучшения классических критериев прочности. Этими вопросами занимается механика разрушения. Одним из основных объектов изучения этой ветви теории твердого тела является трещина, под которой в двумерном случае понимается разрыв поля перемещений на некоторой кривой в плоской бесконечной линейно упругой среде. Задача об одной трещине полностью решена и тщательно исследована [1], однако увеличение числа трещин в среде ведет к значительному усложнению процесса получения аналитического решения. Результаты получены лишь в очень небольшом наборе задач [2], в то время как для приложений требуется анализировать огромный спектр различных конфигураций среды с трещинами. Все это ведет к необходимости разработки численных способов решения подобных задач.

В работе представлен алгоритм моделирования систем трещин, способный решать описанные задачи, проведена его верификация. Алгоритм основан на методе граничных элементов и является усовершенствованием его частного случая — метода разрывных смещений. Приведено физическое обоснование метода и результаты, полученные с его помощью. Выполнено сравнение результатов с известными аналитическими решениями, а также сравнение точности представленного численного решения с классическим алгоритмом разрывных смещений [3]. Они позволяют утверждать о применимости разработанного алгоритма и значительном уточнении результатов.

Научный руководитель — д.ф.-м.н., проф. Звягин А. В.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-07-01111).

Список литературы

- [1] Новацкий В. Теория упругости / М.: Мир, 1975.
- [2] МУРАКАМИ Ю. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений. Т. 1, Т. 2 / М.: Мир, 1990.
- [3] КРАУЧ С., СТАРФИЛД А. Методы граничных элементов в механике твердого тела / М.: Мир, 1987.

1.30. Цгоев Ч.А. Математическое моделирование динамики повреждения миокарда при инфаркте

Разработана новая математическая модель, которая описывает сложное динамическое поведение про- и противовоспалительных факторов и гибель кардиомиоцитов при остром инфаркте миокарда. Разработана экономичная вычислительная технология структурной и параметрической идентификации уравнений модели, основанная на идее расщепления обратной коэффициентной задачи с большим числом неизвестных параметров на последовательность более простых обратных задач.

Эффективность технологии была продемонстрирована в ходе разработки новой математической модели динамики гибели кардиомиоцитов при ИМ. Также выполнены методические исследования, связанные с оценкой метода оптимизации и статистической достоверности результатов решения обратной задачи. Выполнена «диагностическая» проверка работоспособности модели в условиях, связанных с отклонениями от стандартного сценария протекания инфаркта миокарда. Тем самым проверена адекватность внутренних связей компонент искомой модели. В рамках принятой модели показана возможность триггерного режима развития инфаркта миокарда с реализацией двух сценариев — благоприятного или со стремительно развивающимся летальным исходом.

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Воропаева О. Ф.

1.31. Яковлев Г.А., Смирнов С.В., Кобзев А.А., Зелинский А.С., Яковлева В.С. Моделирование динамики гамма-фона во время выпадения жидких атмосферных осадков

Природа предоставила нам прекрасные трассеры-индикаторы для мониторинга изменений состояния окружающей среды и погоды, такие, как природные радионуклиды, их ионизирующее излучение. Общеизвестно, что источниками радиационного фона приземной атмосферы являются радионуклиды, содержащиеся в грунте, атмосферном воздухе, объектах техносферы, а также космическая радиация. Пространственно-временные вариации радиационного фона, активности радиоактивных газов и аэрозоль в приземной атмосфере, газов в поверхностном слое грунта, являются следствием различных процессов и явлений, происходящих в окружающей среде.

Попытки найти взаимосвязь между интенсивностью осадков и величиной всплесков мощности дозы γ -излучения были предприняты ранее, но значимой взаимосвязи обнаружено не было. Это может быть связано с недостаточно высоким временным разрешением данных, с тем, что все случаи дождя уникальны и интенсивность также имеет свою временную динамику, или с тем, что вымывающая способность осадков зависит от их интенсивности. Для решения задачи пространственно-временного распределения активности радионуклидов была предложена «rainout — washout» модель, которая делит атмосферу на две части в облаке и под облаком, однако, она пока еще не получила экспериментального подтверждения. Тем более, что расчеты требуют знания множества не достаточно изученных входных параметров модели.

Поэтому для исследования отклика гамма-фона на жидкие атмосферные осадки были разработаны математические модели: а) динамики радона дочерних продуктов распада в атмосфере; б) динамики активности дочерних продуктов распада радона, осаждаемых на земную поверхность. С их помощью была определена степень влияния высоты слоя инверсии, высоты нижней кромки облаков, суточных вариаций плотности потока радона с поверхности грунта на осаждаемую активность ^{214}Pb и ^{214}Bi .

Для проверки модели на экспериментальных данных, полученных на исследовательской площадке ТПУ — ИМКЭС, были произведены расчеты дозовых коэффициентов для ^{214}Pb и ^{214}Bi с помощью среды GEANT4 на разных высотах от земной поверхности с геометрией дискового источника радиусом 500 м. Они учитывали нижний порог регистрации γ -излучения в 50 кэВ для детекторов БДКГ-03, использованных в эксперименте в режиме мониторинга. Для моделирования был использован встроенный в GEANT4 стандартный набор физических процессов QGSP_BIC_HP с некоторой модификацией под задачу данного исследования, аналогично примеру «extended/radioactivedecay/rdecay02» из библиотеки GEANT4.

Моделирование динамики гамма-фона (мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения) во время выпадения жидких атмосферных осадков производили с использованием измеренных данных о плотности потока радона с поверхности грунта (разработка ТПУ), а также данных об интенсивности осадков измеренные челночным Davis Rain Collector II (Davis Instruments, США) и оптическим ОПТИОС (разработка ИМКЭС СО РАН) осадкомерами. Сравнение измеренных и расчетных данных о гамма-фоне позволило выявить некоторые закономерности. Получено, что коэффициент захвата аэрозолей каплями дождя сильно зависит от интенсивности осадков и размера капель, что является новым научным результатом.

1.32. Янькова Г.С., Хе А.К., Богомякова О.Б., Тулунов А.А. Математическое моделирование гидроцефалии: качественная картина деформации мозгового вещества

Одним из специфических для мозга явлений является течение цереброспинальной жидкости (ЦСЖ, ликвор). Некоторые неврологические заболевания изменяют характер течения ЦСЖ, что, в свою очередь, может привести к изменениям в головном мозге. Одним из таких заболеваний является гидроцефалия, при которой желудочки головного мозга увеличиваются, что приводит к смещению и сдавливанию мозговой ткани. Это состояние хорошо описано с точки зрения клинических проявлений, но его причины и развитие плохо изучены.

Одним из основных методов прижизненного изучения ликворной системы человека является магнитно-резонансная томография (МРТ). На основе МРТ данных (МТЦ СО РАН) о потоках ликвора и крови, с использованием аналогичной [1] многофазной модели поропругости для вещества мозга предложена комплексная модель церебральной ликворо- и гемодинамики человека.

В работе приведены результаты математического моделирования для случая двух вариантов геометрии головного мозга: сначала была рассмотрена упрощенная геометрия, в которой поропругая паренхиматозная ткань моделируется кольцом ограниченным двумя концентрическими окружностями, представляющими череп и желудочки головного мозга. В качестве второго варианта геометрии была использована двумерная геометрия паренхиматозной ткани и желудочковой системы головного мозга пациента, построенная на основе сагитального среза МРТ изображения головного мозга пациента.

В результате математического моделирования было показано, что данная математическая модель церебральной гемоликвородинамики описывает градиенты внутричерепного давления, динамику крови и ЦСЖ и смещения стенок желудочков мозга в нормальных и патологических состояниях, таких как гидроцефалия. Также рассматриваемая модель позволяет описать как здоровое состояние организма и состояние организма при данном заболевании, так и переход между ними, осуществляющийся при изменении параметров модели [2]. Расчеты для простой геометрии могут использоваться для оценок поведения величин в сложной геометрии. Поведение модели коррелирует с поведением реальных механизмов гемоликвородинамики.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-11-00069).

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Черевко А. А.

Список литературы

[1] TULLY B., VENTIKOS Y. Cerebral water transport using multiple-network poroelastic theory: application

to normal pressure hydrocephalus // J. Fluid Mech. 2011. Vol. 667. P. 188–215.

[2] Янькова Г. С., Черевко А. А., Хе А. К., и др. Исследование развития гидроцефалии с использованием моделей поропругости // Прикладная механика и техническая физика. 2020. Т. 61. № 1. С. 17–29.

1.33. Яшин М.Е., Зильман А.И. Двухкомпонентная модель гидроволнового лотка для исследования наката одиночных волн на Кессон

При набегании длинных морских волн на берег могут возникать разрушительные последствия для прибрежных сооружений. Такие волны возникают вследствие различных природных явлений: землетрясений, извержений подводных вулканов и др. [1]. Для моделирования распространения и взаимодействия волны с препятствием проводят специальные маломасштабные лабораторные эксперименты. Для проведения таких экспериментов требуется значительные временные и денежные затраты. Поэтому математическое моделирование этого явления актуально, так как оно позволяет получать результаты относительно быстро для различных задач, а также расширить возможности лабораторных экспериментов.

В данной работе в продолжение [2] рассматривается задача распространения одиночной волны в гидроволновом лотке, ее взаимодействие с прибрежным препятствием, связным грунтом и накат на берег.

В настоящей работе используется математическая модель движения многокомпонентной вязкой несжимаемой среды, у которой вязкость и плотность зависят от концентрации компонент. Каждая компонента представляется вязкой несжимаемой жидкостью с собственными значениями вязкости и плотности, соответствующих воздуху, воде и намочшему связному грунту. Между компонентами предполагается возможность диффузии массы. Движение такой среды описывается нестационарной системой уравнений Навье—Стокса в естественной формулировке, а перенос компонент среды — уравнениями конвективной диффузии и соотношениями для определения плотности и вязкости [2]. Для численной реализации модели применяется метод конечных разностей с использованием разнесенной сетки [3]. Система уравнений Навье—Стокса аппроксимируется по времени схемой расщепления по физическим процессам [3] с учетом переменной плотности, а для решения уравнений конвективной диффузии применяется схема предиктор-корректор. Подробное описание этого численного алгоритма представлено в работе [2].

В работе проведен ряд численных экспериментов по расчету задачи по набеганию одиночной волны на берег и прибрежные защитные конструкции, а также проведено исследование влияния длин-

ных волн на движение кессона [4]. Расчеты показали: во-первых, размеры и местонахождение препятствия влияют на скорость волны и величину заплеска на берег; во-вторых, движение кессона зависит не только от скорости, но и от высоты и объема набегающей волны.

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Захаров Ю. Н.

Список литературы

- [1] Пелиновский Е. Н. Гидродинамика волн цунами / Нижний Новгород: ИПФ РАН, 1996. 276 с.
- [2] ZAKHAROV Y. N., ZIMIN A. I., NUDNER I. S., YASHIN M. E. Mathematical modeling of a hydraulic flume for carrying out numerical experiments on coastal waves and erosion of cohesive soil // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. Vol. 1441. N. 012182.
- [3] Белоцерковский О. М. Численное моделирование в механике сплошных сред / М.: Наука, 1984. 520 с.
- [4] BENEDICT D. R., ROBERT A. D., PETER K. S. Simulation of caisson breakwater movement using 2-D SPH // J. Hydraulic Res. 2010. P. 135–141.

2. Информационно-вычислительные технологии

2.1. Ахметьянова А.И. Математическое моделирование гомодесмических реакций органических соединений

Работа направлена на разработку новых комплексных подходов к математическому моделированию с применением современных компьютерных технологий [1]. Разрабатываемая система предназначена для анализа механизмов химических превращений, поскольку термодинамические параметры химических соединений представляют собой фундаментальную характеристику энергосодержания вещества. Недостаток экспериментальных данных привел к разработке различных вариантов приближенного расчета термодинамических величин, в том числе с использованием современных квантово-химических подходов. Определение базиса гомодесмических реакций (ГДР) позволяет осуществлять независимые оценки, контролировать воспроизводимость результатов и, тем самым, повышать надежность теоретического определения стандартной энтальпии образования химического соединения [2]. Тем самым возникает решаемая задача построения базиса ГДР, разработки соответствующего математического и программного обеспечения его определения.

Результатом выполнения данной работы является новая разработанная система для оценки молекулярной энергетики химических соединений: совокупность математических методов, моделей и алгоритмов; комплекс различных по функциям и взаимосвязанным программ, а также программные документы, необходимые для эксплуатации этих программ [3]. Получены надежные количественные данные по величинам энергосодержания циклических органических соединений, рассчитаны энергии напряжения циклов различного строения. Продемонстрирован универсализм оригинальной теоретической методики исследования молекулярной энергетики, не имеющей аналогов в мировой науке. Сформированный массив количественных данных важен для понимания закономерностей разнообразных химических реакций, идущих с образованием или разрывом циклов. Помимо фундаментального значения, эти знания могут быть применены при анализе технологических схем промышленно важных химических процессов современной нефтехимии.

В основе разработки программы лежит теоретико-графовый метод. Разработанная программа генерирует набор независимых гомодесмических реакций для исследуемого соединения, что повышает надежность теоретического определения стандартной энтальпии образования [3]. Для хранения информации о химических соеди-

нениях спроектирована реляционная база данных с информацией о структуре, составе химического соединения и его энергетических характеристиках [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-07-00584 А).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Исмагилова А. С.

Список литературы

- [1] Зиганшина Ф. Т., Исмагилова А. С., Ахметьянова А. И. и др. Компьютерное моделирование задачи определения базиса гомодесмических реакций // Системы управления и информационные технологии. 2019. № 4(78). С. 10–15.
- [2] KHURSAN S., ISMAGILOVA A., SPIVAK S. A graph theory method for determining the basis of homodesmic reactions for acyclic chemical compounds // Doklady Physical Chemistry. 2017. Vol. 474. P. 99–102.
- [3] АХМЕРОВ А. А., ЗИГАНШИНА Ф. Т., АХМЕТЬЯНОВА А. И. и др. Теоретический расчет энергетических характеристик органических соединений (свидетельство № 2020660354) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2020.
- [4] АХМЕТЬЯНОВА А. И., ЗИГАНШИНА Ф. Т., ИСМАГИЛОВА А. С., АХМЕРОВ А. А. Энергетические характеристики органических соединений для расчета стандартной энтальпии образования и энергии напряжения циклов (свидетельство № 2020621607) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2020.

2.2. *Беляев И.А. Равновесие в модели Диксита — Стиглица — Кругмана: случай нелинейных издержек*

Рассматривается модель международной торговли Диксита — Стиглица — Кругмана [1, 2], описывающая влияние экономии от масштаба на монополистическую конкуренцию в международной торговле. Исследование подобных моделей позволяет объяснить процессы, происходящие в современной экономике, а также спрогнозировать ее дальнейшее развитие.

Модель международной торговли при монополистической конкуренции основывается на следующих предположениях:

- фирмы-производители производят товары одинаковой природы, но не полностью взаимозаменяемые (товарное разнообразие);
- число фирм достаточно велико;
- каждая фирма производит один вид товарного разнообразия — свой бренд и устанавливает его цену;
- каждое товарное разнообразие производится одной фирмой;
- единственным производственным фактором является труд;
- фирмы входят на рынок до тех пор, пока их прибыль положительна.

В данной работе исследуется рыночное равновесие в модели международной торговли двух групп стран при монополистической конкуренции производителей, аддитивно-сепарабельной функции полезности потребителей, нелинейных производственных издержках, а также при транспортных издержках «iceberg type». Изучаются случаи свободы торговли и автаркии; в последнем случае подробно изучены различные виды предавтаркии. Получена локальная сравнительная статика равновесных переменных по транспортным издержкам. Эта работа является обобщением ранее полученных результатов для торговли между двумя странами с нелинейными производственными издержками [3] и результатов для двух групп стран с линейными производственными издержками [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 18-010-00728 и № 19-010-00910).

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Быкадоров И. А.

Список литературы

- [1] DIXIT A., STIGLITZ J. Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity // Amer. Econ. Review. 1977. Vol. 67, N. 3. P. 297–308.
- [2] KRUGMAN P. Increasing returns, monopolistic competition and international trade // J. Intern. Econ. 1979. Vol. 9. N. 4. P. 469–479.
- [3] BELYAEV I., BYKADOROV I. International Trade Models in Monopolistic Competition: the Case of Non-linear Costs // IEEE Xplore. 2019. P. 12–16.
- [4] BYKADOROV I., ELLERO A., FUNARI S. ET AL. Painful Birth of Trade under Classical Monopolistic Competition // National Res. Univ. Higher School of Economics, Basic Res. Program Working Papers. Ser.: Econ. 2016. Vol. 132. 35 p.

2.3. *Данилов М.Н. О разработке цифровых двойников датчиков и их применении в измерении физических величин*

Математические модели физических процессов и систем, основанные на уравнениях математической физики, а также на фундаментальных законах и принципах физики, и наиболее проверенных и развитых научных теориях (физико-математические модели), в настоящее время широко применяются при решении различных научно-технических задач. Такие модели включают различные физические константы и переменные, которые имеют строгий физический смысл и являются физическими величинами. К ним предъявляются требования адекватности и универсальности. Полные физико-математические модели, учитывающие максимальное количество факторов, определяющих состояние моделируемой системы, позволяют с высокой точностью предсказывать физические процессы. Такие модели используются, например, в современных конечноэлементных программных комплексах, таких как Ansys, Abaqus и других системах численного моделирования физических процессов и си-

стем. Решение математических задач в них выполняется с помощью эффективных численных методов. В совокупности с современными вычислительными технологиями решения задач на многопроцессорных электронных вычислительных системах, которые в настоящее время могут быть очень компактными и энергоэффективными, численное решение математической задачи, решаемой в рамках моделирования физической системы, может быть получено достаточно быстро. В конечном счете, все это привело к появлению так называемой концепции цифрового двойника реально существующей технической системы [1, 2].

Под цифровым двойником подразумевается некоторая компьютерная (математическая, численная) модель реального физического изделия, имитирующая изменение его состояния в процессе эксплуатации. При этом, состояние «виртуального» изделия приводится в соответствие с состоянием физического изделия посредством корректировки параметров модели на основании данных, получаемых с различных датчиков, установленных на физическом изделии. В свою очередь на основании анализа результатов моделирования производится корректировка режима работы физического изделия посредством управляющих воздействий. Таким образом, осуществляется синхронизация реального изделия и его цифрового двойника (реализуется обратная связь).

Настоящая работа посвящена проблемам разработки и применения полных физико-математических моделей и цифровых двойников сложных технических систем в измерении физических величин. Измерительно-вычислительные комплексы и системы, включающие высокопроизводительные ЭВМ, позволяют реализовать концепцию цифрового двойника, что позволит решить целый ряд проблем, связанных с проведением экспериментов.

В качестве примера рассмотрена процедура разработки математической модели, численной модели и цифрового двойника шестикомпонентных аэродинамических весов [3–5], используемых при проведении весовых испытаний моделей перспективных летательных аппаратов в аэродинамических трубах. Создана новая методика получения функции преобразования [5] для многокомпонентного тензометрического датчика, основанная на использовании цифрового двойника датчика. Преимуществом предложенной методики является сокращение трудоемкости выполнения тарировки (калибровки) многокомпонентных тензометрических датчиков [5, 6]. Показано, что в перспективе физическая тарировка весов (многофакторный физический эксперимент) может быть заменена на «виртуальную», предполагающую вычисление калибровочных коэффициентов. Кроме того, на основе метода топологической оп-

тимизации разработана технология автоматизированного проектирования упругого элемента тензометрического датчика весов (первичного аналогового преобразователя). Применение полных физико-математических моделей в измерении физических величин позволяет создавать датчики нового типа и следующего поколения, а также повысить точность и адекватность результатов измерений.

Список литературы

- [1] Комраков А. В., Сухоруков А. И. Концепция цифрового двойника в управлении жизненным циклом промышленных объектов // Научная идея. 2017. № 3 (3). С. 1–7.
- [2] Манвелян В. С. Шестикомпонентные вращающиеся тензометрические весы для испытания соосных винтов // Вест. Московского авиационного ин-та. 2020. Т. 27. № 1. С. 53–64.
- [3] Богданов В. В., Волобуев В. С. Многокомпонентные тензометрические весы // Датчики и системы. 2004. № 3. С. 3–8.
- [4] Альгин В. Б., Ишин Н. Н. Надежность технически сложных изделий в свете «индустрии 4.0» // Актуальные вопросы машиноведения. 2017. № 6. С. 43–54.
- [5] Daniilov M. N., Bardaev P. P. Finite element and neural network approximations to measure forces using sixcomponent wind tunnel balance // Proc. XXVI Conf. on High-Energy Processes in Condensed Matter (HEPCM-2019). Russia, Novosibirsk: AIP Conf. Proc., 2019. Vol. 2125. N. 030091. P. 1–11.
- [6] Волобуев В. С., Горбушин А. Р., Судакова И. А., Тихомиров В. И. Два способа калибровки тензометрических весов на калибровочных стендах ЦАГИ // Ученые записки ЦАГИ. 2017. Т. 48. № 2. С. 62–70.

2.4. Иванов П. С., Кавунникова Е. А. Построение прокси-модели закачки углеводородных газов в пласт

В настоящее время все чаще разработка месторождений производится с привлечением методов увеличения нефтеотдачи (МУН) пласта. При этом возникает задача разработки вычислительно быстрых инструментов для предсказания уровня нефтеотдачи при применении МУН, которые не требуют построения сложных гидродинамических моделей.

Одним из видов МУН является метод закачки сопутствующих углеводородных газов обратно в пласт. Механизм извлечения нефти из пласта при этом типе МУН основывается на изменении свойств нефти, содержащейся в пласте [1]. А именно, при смешивающимся вытеснении имеет место взаимная растворимость газа и нефти, при этом силы поверхностного натяжения на границе между фазами снижаются.

В данной работе была исследована возможность использования методов машинного обучения для прогнозирования величины добычи нефти. Была построена прокси-модель закачки углеводородных газов в пласт на основе рекуррентной нейронной сети, позволяющая предсказывать погодо-

вую и суммарную величину добычи нефти в течение 17 лет. Набор данных для обучения был получен с помощью гидродинамического симулятора tNavigator. Использовалась 4-слойная нейронная сеть с двумя рекуррентными LSTM [2] слоями и двумя полносвязными слоями. Для уменьшения эффекта переобучения были добавлены L2-регуляризация [3] для LSTM-слоев и один Dropout слой между полносвязными. При этом точность прокси-модели предсказания суммарного дебита нефти является достаточно высокой. Коэффициент детерминации R2 по кросс-валидации равен 0.91, а для предсказания погодного дебита ошибка MAPE (mean average percentage error) по кросс-валидации составляет 36.8%.

Полученные результаты могут быть использованы при выборе наиболее подходящего типа МУН.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Старовойтова Б. Н.

Список литературы

- [1] YAWS C. Thermophysical properties of chemicals and hydrocarbons / Elsevier, 2014. 1000 p.
- [2] HOCHREITER S., SCHMIDHUBER J. Long short-term memory // Neural Computation. 1997. Vol. 9. N. 1. P. 1735–1780.
- [3] PEDREGOSA F., VAROQUAUX G., GRAMFORT A. ET AL. Scikit-learn: Machine learning in Python // J. Mach. Learn. Res. 2011. Vol. 12. P. 2825–2830.

2.5. Кравченко В.С., Иванов А.В. Параллельные алгоритмы решения задачи Ламберта

Задача Ламберта является классической двухточечной краевой задачей небесной механики. Её можно сформулировать следующим образом: найти кеплеровскую орбиту, проходящую через две точки пространства с радиус-векторами \mathbf{r}_1 и \mathbf{r}_2 в моменты времени t_0 и t_1 .

Подходов к решению задачи существует достаточно много, однако все методы сводятся к решению одного нелинейного уравнения. Для анализа были выбраны методы Суханова [1], Иццо [2] и Гудинга [3], основанные на решении уравнений в универсальных переменных и функциях Штумфа [1] и уравнения Ланкастера [4]. Для решения этих уравнений используются метод секущих (ложного положения) [2], метод Ньютона [1] и метод Галлея [3].

Целью работы является анализ подходов к решению задачи Ламберта и их массивно-параллельная реализация на графическом процессоре. Для выполнения параллельных вычислений используется технология CUDA, позволяющая выполнять вычисления на графическом процессоре. Особенностью данной работы является попытка использования параллельного программирования внутри итерационной схемы.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства РФ, выделяемого из федерального бюд-

жета для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных организациях высшего образования, научных учреждениях и государственных научных центрах Российской Федерации (VII очередь, постановление Правительства РФ № 220 от 09.04.2010, Соглашение № 075-15-2019-1894 от 03.12.2019).

Список литературы

- [1] СУХАНОВ А. А. Астродинамика / М.: ИКИ РАН, 2010. 204 с.
- [2] IZZO D. Revisiting Lambert’s problem // Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy. 2015. Vol. 121. N. 1. P. 1–15.
- [3] LANCASTER E. R., BLANCHARD R. C. A unified form of Lambert’s theorem // NASA Tech. Note D-5368. 1969. 14 p.
- [4] GOODING R. H. On the solution of Lambert’s orbital boundary-value problem // Tech. Rep., Royal Aerospace Establishment. 1988. 21 p.

2.6. Мещеряков Г.А. Стохастический след и квадратуры Гаусса для учёта сложной структуры популяции

Линейные модели, и, в частности, структурные (англ. *structural equation models* или SEM), находят широкое применение в самых разнообразных областях — от социологии и эконометрики до биоинформатики и генетики [1]. Однако, часто такие модели используются в предположении о независимости наблюдений, которое на практике редко соблюдается: наблюдения могут иметь общую дисперсию, обусловленную некоторыми общими факторами. Например, в задаче полногеномного поиска ассоциаций (т.е. выявления значимых генов, влияющих на фенотипический признак), такими факторами могут быть генетическое родство наблюдаемых индивидов и/или особенности окружающей среды. Возможно учитывать такие зависимости путём выноса общих дисперсий в отдельные случайные величины, так называемые «случайные эффекты» (англ. *random effects*). В общем случае, линейная модель со случайными эффектами имеет вид:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{A}(\theta) + \mathbf{E} + \sum_{k=1}^R \mathbf{U}^{(k)},$$

$$\mathbf{E} \sim MN(0, \Sigma, I_n), \mathbf{U}^{(k)} \sim$$

$$\sim MN(0, \mathbf{D}^{(k)}(\theta), \mathbf{K}^{(k)}(\theta)), \quad (1)$$

где \mathbf{Y} — матрица наблюдений размера $n \times m$; \mathbf{A} — матрица прямых эффектов размера $n \times m$; \mathbf{E} — матрица случайных ошибок; $\mathbf{U}^{(k)}$ — матрица случайных эффектов; $MN(M, B, C)$ — матричное нормальное распределение со средним M , матрицей ковариаций по столбцам B и по строкам C ; n — число наблюдений; m — число наблюдаемых переменных; R — число случайных эффектов; θ — вектор параметров модели, подлежащий оцениванию.

При попытке получения оценки θ методом максимального правдоподобия для (1) мы неизбежно сталкиваемся с необходимостью нахождения обратной матрицы размера $n \times n$ при вычислении функции цели, что в общем случае возможно лишь за $O(n^3)$. В частном случае при $R = 1$ совместная диагонализация I_n и $K^{(1)}$ позволяет понизить сложность до $O(n)$ [2], однако при $R > 1$ это не представляется возможным. Было решено использовать подход на основе представления следа от аналитической матричной функции через интеграл Римана — Стильетса и последующем приближении его через ортогональные полиномы Ланшоца [3]. Он основывается на следующих предположениях.

1. Стохастическая оценка следа $f(A)$, где A — некоторая эрмитова матрица, f — аналитическая функция:

$$\forall x : E[x] = 0, E[x^T x] = 1 : E[x^T f(A)x] = \text{tr}\{f(A)\} \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^T f(A)x_i.$$

2. Представление квадратичной формы в виде интеграла Римана — Стильетса и приближение его квадратурами Гаусса — Ланшоца:

$$\begin{aligned} x^T f(A)x &= x^T f(Q^T \Lambda Q)x = x^T Q^T f(\lambda)Qx = \\ &= \sum_{i=1}^n f(\lambda_i) \mu_i^2 = \int_{\lambda_n}^{\lambda_1} f(t) d\mu(t) \approx \sum_{i=1}^m w_i f(b_i), \\ \mu_i &= (Qx)_i. \end{aligned}$$

Семейство ортогональных полиномов для квадратуры по мере μ находится через процесс Грамма — Шмидта, совпадающий в данной задаче с алгоритмом Ланшоца.

В рамках работы был реализован описанный функционал, позволяющий сократить сложность от числа элементов выборки до $O(n^2)$, и интегрирован в программный пакет semoru.

Список литературы

- [1] IGOLKINA A., MESHCHERYAKOV G., GRETSOVA M. ET AL. Multi-trait multi-locus SEM model discriminates SNPs of different effects // BMC Genomics. 2020. Vol. 21 P. 1–11.
- [2] МЕЩЕРЯКОВ Г. А., ИГОЛКИНА А. А., САМСОНОВА М. Г. Создание программного пакета для моделирования структурными уравнениями // Неделя науки СПбПУ. СПб.: СПбПУ, 2018. С. 241–244.
- [3] UBARU S., CHEN J., SAAD Y. Fast estimation of $\text{tr}(f(A))$ via stochastic Lanczos quadrature // SIAM J. Matrix Anal. and Appl. 2020. Vol. 38(4). P. 1075–1099.

2.7. Писарев А.В., Шакиров С.Р., Квашигин А.Г. Разработка цифровой модели установки по переработке органических отходов

В данной работе продолжены исследования, результаты которых были опубликованы ранее [1–3]. Рассмотрены результаты разработки математических моделей для опытно-промышленного образца

установки переработки органических отходов, которые позволяют на этапе проектирования технологического оборудования и АСУ ТП оценить правильность принятых решений. Кроме того, предполагается их использование в прикладном программном обеспечении АСУ ТП установки. Используемая в работе классификация математических моделей приведена в [4]. Контролирующие модели созданы на основании физических закономерностей и представлениях о протекающих технологических процессах. Используются балансовые модели, основанные на уравнениях материального и теплового балансов. Расчеты учитывают взаимодействие узлов и агрегатов установки и выполняются для трех режимов работы установки: сжигание, газификация и пиролиз. Для всех режимов работы установки определяется их осуществимость и производится выбор режима в реальном времени, исходя из соответствующего критерия оптимальности. Например, для пиролиза у рассматриваемой установки критерием осуществимости процесса является его автотермичность [5]. Реакции окисления углерода являются основными технологическими процессами и характеристики протекания этих реакций определяются по косвенным измерениям, основываясь на расчетах по математическим моделям в режиме реального времени. Математические модели реакций окисления углерода построены на системе материальных балансов газовой среды. Динамические модели позволяют определять значения параметров технологических процессов во времени и строятся на основании дифференциальных уравнений тепловых и материальных балансов. В структурах автоматических систем регулирования (АСР) динамические модели определяются в режиме реального времени при идентификации динамических характеристик объектов регулирования [1–3]. Динамические модели позволяют обеспечить более высокую точность стабилизации технологических параметров. Статистические прогнозирующие модели позволяют получить информацию о состоянии технологического процесса в конце протекания по его состоянию в начале и значениям управляющих воздействий. Используя экстремальные статистические характеристики процессов окисления углерода (органического топлива) можно применить экстремальные регуляторы-оптимизаторы. Используя зависимость коэффициентов полезного действия (КПД) камеры сжигания и сушилки от других технологических параметров установки, можно в каждый момент времени обеспечить максимальное значение КПД, непрерывно рассчитываемое вычислительным устройством. Разработанные математические модели позволяют повысить эффективность (технико-экономические показатели) работы установки путем совершенствования технологической схемы и оптимизации режимов работы.

Список литературы

- [1] ШАКИРОВ С. Р., КВАШНИН А. Г., ПИСАРЕВ А. В. Моделирование работы адаптивной системы управления процессом сушки в установке утилизации органических отходов // *Автометрия*. 2018. № 5. С. 122–128.
- [2] ШАКИРОВ С. Р., КВАШНИН А. Г., ПИСАРЕВ А. В. Синтез нейро-нечеткого регулятора тепловой нагрузки установки переработки органических отходов // *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2019. № 9. С. 54–62.
- [3] ШАКИРОВ С. Р., КВАШНИН А. Г., ПИСАРЕВ А. В. Разработка и исследование математических моделей элементов газоздушного тракта для создания АСУ ТП установки по переработке органических отходов // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2020. № 10. С. 575–583.
- [4] ПАРСУНКИН Б. Н., АНДРЕЕВ С. М., МИХАЛЬЧЕНКО С. Е. Автоматизация технологических процессов и производств (в металлургии): Курс лекций / Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. 157 с.
- [5] BASU P. Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: Practical design and theory / Acad. Press, 2018. 470 p.

2.8. Тильзо О.А. Лидерство ритейлера при монополистической конкуренции

В работе рассматривается модель монополистической конкуренции Диксита – Стиглица [1], дополненная вертикальным рыночным взаимодействием [2]. Модель представлена репрезентативным потребителем, ритейлером-монополистом и некоторым континуумом $[0, N]$ производителей (здесь N – масса фирм, т.е. длина продуктовой линии, отражающая массу товарного разнообразия) [3]. Каждый производитель несет линейные издержки, производит один вид товара (товарного разнообразия) и определяет цену этого товара. Рассматривается случай квадратичной функции полезности, что соответствует линейному спросу. Предполагается, что ритейлер, максимизируя свою прибыль, является лидером и выбирает массу фирм-производителей и торговую надбавку [4].

Подробно изучаются различные варианты поведения ритейлера при условии свободы входа производителей на рынок (вход осуществляется до тех пор, пока присутствие производителей на рынке безубыточно).

В работе рассматривается случай лидерства ритейлера (RL) при конкурентном взаимодействии:

- сначала ритейлер выбирает торговую надбавку и масштаб товарного разнообразия, правильно предвидя последующий ответ производителей;
- затем каждый производитель выбирает, войти на рынок или нет, а также выбирает оптимальную оптовую цену.

При исследовании задачи оказалось, что у ритейлера появляется несколько стратегий поведения:

- случай $RL(I)$ – из условия свободы входа определяется количество производителей как функция от торговой надбавки, затем максимизируется прибыль ритейлера относительно торговой надбавки;
- случай $RL(II)$ – сначала максимизируется прибыль ритейлера относительно торговой надбавки, затем применяется условие свободы входа;
- случай $RL(III)$ – прибыль ритейлера максимизируется относительно массы производителей, затем применяется условие свободы входа.

Показано, что для ритейлера предпочтительнее выбрать первую стратегию – $RL(I)$, так как его прибыль в этом случае наибольшая. В тоже время для потребителей (с точки зрения потребительского излишка) и общества в целом (с точки зрения общественного благосостояния) предпочтительней третий вариант поведения посредника – $RL(III)$.

Таким образом, по вопросу согласования интересов можно сделать вывод: полное совпадение интересов ритейлера, потребителей и общества невозможно, однако совпадение интересов потребителей и общества возможно.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 18-010-00728 и № 19-010-00910).

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Бькадоров И. А.

Список литературы

- [1] DIXIT A. K., STIGLITZ J. E. Monopolistic competition and optimum product diversity // *Amer. Econ. Review*. 1977. Vol. 67. P. 297–308.
- [2] БЬКАДОРОВ И., ЕЛЛЕРО А., ФУНАРИ С. ET AL. Chain store against manufacturers: Regulation can mitigate market distortion // In: Yu. Kochetov et al. (eds.). *Discrete Optimization and Operations Research / 9th Intern. Conf. DOOR 2016*. Heidelberg: Springer, 2016. Vol. 9869. P. 480–493.
- [3] TILZO O., БЬКАДОРОВ И. Retailing under monopolistic competition: A comparative analysis // *IEEE Xplore*. 2019. P. 156–161.
- [4] TILZO O., БЬКАДОРОВ И. Monopolistic competition model with retailing // *CCIS*. 2020. Vol. 1275. P. 287–301.

3. Информационные технологии

3.1. Агапов Е.В. Математическая модель планирования заданий в территориально-распределенных вычислительных системах

Разработка интеллектуальной системы управления глобальным потоком заданий в территориально-распределенных вычислительных системах (ТРВС) является нетривиальной и актуальной научно-технической задачей. На основе обобщения успешного опыта реализации ключевых этапов жизненного цикла ТРВС, представленного в [1], принимается наличие системы диспетчеризации заданий (СДЗ) в составе их технологического сопровождения. Исследования по совершенствованию СДЗ ведутся. Специалисты в области суперкомпьютерных технологий разрабатывают алгоритмы, которые учитывают базовые характеристики вычислительных комплексов (например, количество узлов, виды компиляторов). Но обработка потока заданий подразумевает, что задание поступает в случайный момент времени, для чего следует применять методы, обеспечивающие стохастически оптимальное функционирование вычислительного комплекса. Методы подобного рода в работе системы диспетчеризации не применяются.

Для качественного распределения заданий по комплексам СДЗ предполагается использовать математическую модель планирования заданий со следующими функциями.

1. Определять рациональное количества ядер для запуска пользовательской задачи. При применении пользователями технологий параллельного программирования (OpenMP, MPI, CUDA) повышение количества запрашиваемых процессоров имеет нелинейный характер, и некорректно указанное количество повышает время работы программы в целом.
2. Прогнозировать нагрузку вычислительных узлов [2]. Поскольку сборка и компиляция проекта должна проходить именно на том комплексе, где программа должна считаться, заблаговременный выбор комплекса очень важен. Успешная компиляция проекта не подразумевает моментальный запуск заданий, но данный функционал позволит равномерно распределять задания по всем комплексам.
3. Применять динамическую декомпозицию обрабатываемого задания на подзадачи на основе проведенного анализа алгоритмов решения задачи и характеристик вычислительных узлов.
4. Иметь механизмы для выбора подходящих узлов с требуемым программным обеспечением и последующим созданием, разбиение расчетной сетки для выполнения задания на выбранных узлах.

Научный руководитель – д.т.н. Бобров Л.К.

Список литературы

- [1] Агапов Е. В., Бобров Л. К. Управление процессами использования ресурсов в территориально распределенной вычислительной системе // Актуальные направления научной мысли: проблемы и перспективы. Сб. матер. VI Всерос. научно-практич. (национальной) конф. 2019. С. 3–11.
- [2] Агапов Е. В., Бобров Л. К. Агентный подход к мониторингу состояния узлов территориально распределенной вычислительной системы // Наука. Технологии. Инновации. Сб. науч. тр. В 9 ч. / Под ред. А.В. Гадюкиной. 2019. Ч. 9. С. 86–89.

3.2. Антонов Р.А., Хандожко Г.В. Применение искусственных нейронных сетей для оценки вероятности реализации угроз безопасности информации

В соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности требования» [1], оценка актуальности угроз безопасности информации является одним из этапов идентификации рисков. Актуальность угрозы, в свою очередь, является показателем уровня защищенности объекта информатизации, информационных средств и систем. Формирование перечня актуальных угроз по определенному алгоритму используется как метод создания эффективной системы защиты информации, средств и систем. Эффективность системы защиты определяется отношением затраченных ресурсов (времени, сил и средств) к уровню защищенности информации. При определении актуальности угрозы эксперты используют вербальные показатели. Например, эксперт может определить угрозу, как маловероятную, или угрозу с низкой, средней или высокой вероятности, а также определить опасности реализации угрозы: низкую, среднюю или высокую. При составлении перечня актуальных угроз безопасности информации каждой градации вероятности возникновения угрозы ставится в соответствие числовой коэффициент. Таким образом, вербальные показатели вероятности реализации угроз интерпретируются в числовые градации этого показателя, теоретически воспринимаемые компьютером. С другой стороны, при оценке вероятности реализации угроз эксперт может рассматривать множество ситуаций и множество возможных ответов: два разных эксперта, разные по своему опыту или компетенциям, могут дать разные вербальные характеристики. С использованием методов экспертной оценки, производится итоговое определение вероятности реализации угроз. Для автоматизации процесса определения вероятности реализации угроз требуется определить некоторую зависимость между совокупностью условий обработки информации в системе и итоговыми значениями вероятностей

реализации каждой угрозы, то есть построить алгоритм, способный для любой возможной совокупности входных объектов выдать достаточно точный классифицирующий ответ. Таким образом, экспертное определение вероятности реализации угрозы можно рассматривать, как задачу распознавания. Одним из наиболее эффективных и распространенных способов представления и решения таких типов задач являются искусственные нейронные сети [2–4].

В ходе исследования был разработан программный продукт, рассчитывающий вероятность реализации угроз безопасности информации на основе имеющейся обучающей выборки с применением искусственной нейронной сети. Для оценки качества распознавания проводится тестирование полученной модели искусственной нейронной сети на независимой выборке примеров, состоящей из 500 векторов, сформированных по аналогии с искусственным набором обучающих данных. При должном обучении нейронной сети программный продукт показывает хороший результат.

Список литературы

- [1] ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности требования.
- [2] Бодянский Е. В., Руденко О. Г. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения / Харьков: ТЕЛТЕХ, 2004. 362 с.
- [3] Анисимов В. В. Искусственные нейронные сети: Методические материалы для выполнения курсового проекта / ДВГУПС, 2011г.
- [4] Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд / М., 2008.

3.3. Булуев И.И. Разработка системы технического зрения для подводной робототехнической системы

Процесс освоения Мирового океана требует активного внедрения подводных робототехнических систем, способных использовать манипуляторы как для фиксации и транспортировки грузов, так и для ремонтных работ сложных технических систем. При этом требования к эффективности таких систем в подводном пространстве требует создания принципиально новых модулей управления как самими подводными аппаратами, так и их манипуляторами [1].

Общей задачей является разработка системы технического зрения для подводного робота, способной работать в режиме реального времени. Имеющийся задел описан в предыдущей работе [2]. Задачей работы настоящей является повышение точности позиционирования.

Для этого прежде всего необходимо произвести фильтрацию и выравнивание по фронту сигнала. Для расчета используется адаптивная скользящая

средняя Кауфмана, которая является производной от классической экспоненциально сглаженной скользящей средней с переменным коэффициентом сглаживания. Конечная выведенная автором формула со всеми корректирующими коэффициентами выглядит следующим образом:

$$AMA = c_t \cdot close_t + (1 - c_t) \cdot AMA_{t-1},$$

где $close_t$ — значение сигнала в период t ; c — коэффициент подстройки; AMA_{t-1} — адаптивная скользящая средняя Кауфмана в предыдущий период времени.

Отработка фильтра Кауфмана для заданных окон усреднения показала, что наиболее оптимальным таким окном является $i = 3$, так как при больших значениях в случае резкого изменения показаний датчика, фильтр срезает пики положения. Как следствие, сервопривод не обрабатывает поворот на нужный угол.

Последнее дополнение — ввод экспериментально выведенного компенсирующего коэффициента, равного $-0,007$. Данная величина прибавляется на каждом такте к текущему значению угла скорости, что позволяет избежать эффекта дрейфа.

Список литературы

- [1] Филаретов В. Ф., Юхимец Д. А. Синтез систем автоматического формирования программных сигналов управления движением подводного аппарата по сложным пространственным траекториям // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2010. № 1. С. 90–107.
- [2] Федоров Е. А., Булуев И. И. Разработка подводного робота «Odyssey» // Молодежь и современные информационные технологии: Сб. тр. XIV Международ. научно-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск: в 2 т. Томск: Изд-во ТПУ, 2016. Т. 1. С. 278–279.

3.4. Бучаев А.Я., Амаров А.А., Багандов А.М. Аутентификация на основе физически неклонированных функций

Информационная безопасность может быть надежно обеспечена только при условии применения средств защиты информации, в которых обеспечение секретности заключается в незнании злоумышленником некоторого секретного ключа. Секретность системы зависит от сложности ключей, и у злоумышленника не должно быть лучшей тактики для получения доступа к системе, чем полный перебор возможных значений ключей. При всех своих достоинствах, программно-аппаратные криптографические средства обладают одним существенным недостатком: энергонезависимая память вычислительной системы содержит секретный ключ. Данный факт позволяет злоумышленнику считать ключ при физическом доступе к вычислительной системе.

Физическая криптография, основанная на структурной сложности оптических и электронных физических систем, является одним из наиболее важных достижений в области защиты информации. В процессе производства элементов интегральной электроники неизбежны случайные технологические флуктуации, которые приводят к тому, что на микроуровне все интегральные элементы уникальны. Уникальность проявляется в том, что у идентичных с точки зрения топологии интегральных элементов электрофизические характеристики могут отличаться из-за вариации длины и ширины канала транзисторов, толщины подзатворного диэлектрика и др. Под физически неклонированными функциями (ФНФ) понимаются физические устройства, неотъемлемым свойством которых является неповторяемость (при изготовлении или моделировании, в том числе программном) некоторых их функций, свойств и характеристик. Важнейшим свойством ФНФ является то, что все измерения параметров устройства и формирование ключа происходит внутри ФНФ [1]. Ключ никогда не покидает устройства, но и не хранится в нем. С использованием этого ключа ФНФ, получив на вход запрос, выдает отклик, уникальный для данной системы.

Разработана методика аутентификации основанная на невозпроизводимости ФНФ [2], которая может быть использована при проверке оригинальности электронных устройств. Для этого в базе производителя регистрируются значения пар запрос-ответ ФНФ для случайных значений запросов, которые могут в дальнейшем использоваться для сравнения и однозначной идентификации ФНФ, являющейся неотъемлемой частью устройства.

Список литературы

- [1] Заливако С. С., Иванюк А. А. Использование физически неклонированных функций для генерирования действительно случайных числовых последовательностей // Автоматика и вычислительная техника. 2013. № 3. С. 61–71.
- [2] MUSTAFAEV A. G., BUCHAEV A. YA. A reliable authentication method for the Internet of Things devices // Intern. Conf. Inform. Tech. (InfoTech). Varna, Bulgaria, 2020. P. 1–3.

3.5. Гордилов Д.В. Веб-ориентированная платформа облачных вычислений в задачах гидродинамики

Развитие вычислительной гидродинамики связано с проведением сложных экспериментов. Для этого требуются мощные вычислительные кластеры, а результатами таких экспериментов являются большие массивы численных данных. В таких исследованиях важна автоматизация управления расчетными задачами и удаленная визуализация данных. Обработка данных на локальном устройстве может быть затруднительной и занимать недопустимое для исследований время [1]. Для решения та-

ких проблем активно развиваются облачные технологии, скрывающие все технические и программные детали от пользователя [2]. В таком подходе исследователи могут сосредоточиться только на выполнении численного моделирования, связанного с задачами гидродинамики.

Настоящая работа посвящена разработке платформы на основе HPCCloud [3], в которой реализованы механизмы взаимодействия с вычислительными ресурсами и транслированием удаленной визуализации, а также исследуются способы реализации интерактивной веб-среды для управления расчетными задачами пакета OpenFoam, начиная с введения параметров и заканчивая постобработкой.

Архитектуру платформы можно разделить на несколько частей. Основой является серверное приложение на фреймворке Girder, которое отвечает за хранение данных и мониторинг выполнения расчетных задач. Клиентское приложение реализует пользовательский интерфейс платформы и взаимодействие с сервером по протоколам HTTP и WebSocket. Брокер сообщений RabbitMQ и воркер задач Celery осуществляют асинхронные и трудоемкие запросы на вычислительный кластер [4]. Из-за большого количества связанных компонентов платформы, ее развёртывание осуществляется через Docker, который синхронно запускает каждый компонент по подготовленной конфигурации в отдельно взятых виртуальных контейнерах.

В платформе для запускаемых моделирований указывается расчетный пакет и для запуска задач реализуются процессы автоматизации, которые в зависимости от выбранных параметров задачи генерируют в клиентской части файлы для запуска на вычислительном кластере. Для выполнения расчета на конкретном вычислительном кластере настраиваются шаблоны под PBS Torque. Для тестирования платформы были разработаны модули для расчета задачи о течении жидкости в кубической камере, а также проведен ряд тестов на вычислительном кластере Кемеровского Государственного Университета.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. К. С. Иванов.

Список литературы

- [1] Ненаженко Д. В., Радченко Г. И. Удаленная визуализация больших объемов данных // Вестн. ЮУрГУ. Сер. «Вычисл. матем. и информ.». 2015. Т. 4. № 1. С. 21–32.
- [2] Денисов Д. В. Перспективы развития облачных вычислений // Прикладная информатика. 2009. № 5(23). С. 52–58.
- [3] O'LEARY P., CHRISTON M., JOURDAIN S. ET AL. HPCCloud: A cloud/web-based simulation environment // IEEE 7th Intern. Conf. Cloud Comput. Tech. and Sci. (CloudCom). 2015. P. 10.
- [4] O'LEARY P., HARRIS C., BERNDT M. ET AL. HPCCloud: A cloud/web-based simulation environment // 6th Workshop on Python for High-Perf. and Scientific Comp. (PyHPC). 2016. P. 10.

3.6. Денисов И.А. Применение составных документов для сбора и обработки экспериментальных данных

Перевод данных с измерительного оборудования в цифровой формат является задачей многих прикладных приложений. Существует проблема создания удобных пользовательских интерфейсов для обеспечения процесса измерения. Необходимо передать данные с прибора в некотором формате, обеспечить возможность их отображения и аннотирования. Прикладные программы зачастую не позволяют обеспечить хронологическую и логическую взаимосвязь между измерениями в серии, а также взаимосвязь измерений с результатами их обработки.

Для решения проблемы предлагается оригинальное решение в виде составных документов. Составной документ служит протоколом для серии измерений в рамках одного логически связанного эксперимента. Непосредственно в документ (как элемент текста) визуально встраивается интерфейс для управления сбором, обработкой и аннотированием данных.

Концепция виджетов, представленная операционной системе Oberon [1], была развита в компонентно-ориентированной системе разработки BlackBox Component Builder [2], использованной для разработки конкретного технического решения и создания прикладного приложения, реализующего концепцию измерений в виде составного документа. В работе использована система раздельной компиляции и позднего связывания, которая обеспечивает широкие возможности для расширения функциональности приложения без необходимости перезапуска [3]. Язык программирования Oberon, лежащий в основе фреймворка и использованный для разработки приложения, обеспечивает повышенный уровень безопасности [4]. Приложение прошло испытания в составе лабораторного комплекса для фиксации измерений кинетики биoluminesцентных ферментативных реакций с помощью портативного люминометра.

Список литературы

- [1] WIRTH N., GUTKNECHT J. Project Oberon: The design of an operating system and compiler / N.Y.: ACM Press, 1992. 548 p.
- [2] SZYPERSKI C., GRUNNTZ D., MURER S. Component software / Pearson Edu. Ltd, 2002. 589 p.
- [3] CRELIER R. B. J. Separate compilation and module extension. PhD Thesis. Zurich: Swiss Federal Institute of Technology, 1994. 152 p.
- [4] SCHAGAЕV I., KAEGL-TRACHSEL T. Software design for resilient computer systems / Cham: Springer Intern. Publ., 2016. 214 p.

3.7. Долгая А.А. Геопространственная база данных изопахит пеплопадов крупнейших извержений Камчатки

На Камчатке насчитывается около 30 действующих вулканов, от 2 до 5 из которых ежегодно находятся в стадии эксплозивного (взрывного) извержения. В связи с планируемым расширением хозяйственной деятельности на полуострове всё более актуальными становятся вопросы оценки вулканической опасности. Так как в непосредственной близости от большинства активных вулканов Камчатки нет населенных пунктов, наибольшую опасность для населения представляют пепловые выбросы, способные распространяться в различных направлениях на десятки и сотни километров в зависимости от мощности извержения и направления ветра.

Для проведения исследования нами на основании опубликованных данных с помощью программного комплекса ArcGIS создана геопространственная база данных, содержащая на настоящий момент оцифрованные изопахиты (линии, ограничивающие области одинаковой толщины слоя пепла) пеплопадов от 81 извержения 21 вулкана Камчатки. Для каждого события указано название вулкана, название маркирующего горизонта тефры, мощность слоя тефры в см, возраст, литературный источник.

Все изопахиты были оцифрованы и привязаны к географическим координатам. В большинстве случаев пеплопад характеризовался набором концентрических изопахит, для каждой из которых указывалась своя мощность.

В результате с помощью созданного массива данных стало возможным, например, отображать на карте изопахиты извержений, произошедших в определенный промежуток времени, выявлять преобладающие направления распространения пепловых облаков.

На основании собранного массива данных были построены карты мощности тефры и числа различных горизонтов тефры. Ранее в работе [1] была построена картосхема количества слоев маркирующих пеплов основных голоценовых извержений Камчатки. Сравнительный анализ показал, что аналогичная картосхема, построенная на основании созданной нами базы геоданных, более качественно согласуется с разрезами почвенно-пирокластического чехла.

Созданная база данных также дает возможность более полно, качественно и надежно проводить оценку вулканической опасности территории Камчатского края.

Список литературы

- [1] МАРЧЕК М. С., АЛЯБИНА И. О., ШОВА С. А. ГИС-модель почвенного покрова центральной части Камчатки // Докл. по экол. почвоведению. 2007. Т. 5. № 1. С. 20–60.

3.8. Дородных Н.О., Видия А., Юрин А. Автоматизированное создание онтологий на основе электронных таблиц

На сегодняшний день в рамках исследований по искусственному интеллекту накоплен большой опыт и широкий спектр различных методов и средств представления знаний. В последнее время широкую популярность приобрели онтологические модели представления знаний [1], которые рассматриваются в качестве основного элемента в концепции «Семантической паутины» (Semantic Web). Как правило, онтологии используются системными аналитиками и экспертами предметной области для концептуализации своих знаний и их представления в формате, пригодном для машинной обработки. Онтологии являются ядром современных предметно-ориентированных систем, основанных на знаниях. Однако, несмотря на значительные успехи в данной области и наличие мощных инструментальных средств в виде различных онтологических редакторов (например, Protege, ONTOedit, OntoStudio, WebOnto, Fluent Editor и др.), до сих пор разработка онтологий является одним из самых узких мест при построении подобного рода систем [2]. В данном контексте актуальным является использование различных источников информации (например, тексты, базы данных, таблицы, диаграммы, веб-ресурсы и т.п.) для автоматизированного формирования онтологий.

В данной работе предлагается использовать электронные таблицы для поддержки формирования онтологий предметной области. Таким образом, целью данной работы является разработка метода автоматизированного создания онтологий на основе анализа и преобразования электронных таблиц в формате Excel. Метод основан на модельно-ориентированном подходе (Model-Driven Engineering) и принципах модельных трансформаций [3]. Основной особенностью разработанного метода, определяющими его новизну, является использование канонической (реляционной) формы [4] для представления электронных таблиц, обладающих произвольной компоновкой и стилями оформления.

Метод состоит из четырех основных шагов.

1. Трансформация исходных электронных таблиц с произвольной компоновкой в каноническую форму.
2. Получение фрагментов онтологии на основе анализа и трансформации канонических электронных таблиц.
3. Агрегация отдельных фрагментов онтологии в единую полную онтологическую модель.
4. Генерация кода онтологической модели в формате OWL2 DL [5].

Разработанный метод реализован в форме прототипа программного средства и использовался

при формировании онтологии деградационных процессов в нефтехимии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента России (проект МК-1647.2020.9).

Список литературы

- [1] GUARINO N. Formal ontology in information systems // Proc. First Intern. Conf. on Formal Ontology in Inform. Systems (FOIS'98). 1998. Vol. 46. P. 3–15.
- [2] ГАВРИЛОВА Т. А., КУДРЯВЦЕВ Д. В., МУРОМЦЕВ Д. И. Инженерия знаний. Модели и методы // СПб.: Лань, 2016. 324 с.
- [3] CRETU L. G., FLORIN D. Model-driven engineering of information systems: Principles, techniques, and practice // Apple Acad. Press, 2014.
- [4] DORODNYKH N. O., YURIN A. YU., SHIGAROV A. O. Conceptual model engineering for industrial safety inspection based on spreadsheet data analysis // Communications in Computer and Inform. Sci. Modelling and Development of Intelligent Systems (MDIS 2019). 2020. Vol. 1126. P. 51–65.
- [5] GRAU B. C., HORROCKS I., MOTIK B. ET AL OWL 2: The next step for OWL // Web Semantics: Sci., Services and Agents on the World Wide Web. 2008. Vol. 6. N. 4. P. 309–322.

3.9. Желтова К.А. Применение методов тематического моделирования для классификации пользователей социальных сетей

Современный темп развития социальных сетей делает их уникальным по своей полноте источником информации о людях и их интересах. Анализ социальных сетей предоставляет широкие возможности для решения исследовательских и прикладных задач, однако существенную проблему представляет наличие ложной информации и спама в профилях [1]. Одним из методов решения этой проблемы является дополнение описания профилей пользователей признаками, полученными с помощью анализа групп. В частности, применение методов тематического моделирования к описанию и контенту сообществ в социальных сетях позволяет выявить ключевые слова и латентные темы этих сообществ.

Аддитивная регуляризация тематических моделей (ARTM) — подход к построению тематических моделей, позволяющий комбинировать регуляризаторы, тем самым комбинируя тематические модели [2]. В данной работе ARTM из библиотеки BigARTM была использована для анализа групп социальной сети «ВКонтакте» и последующей классификации пользователей по таким признакам как «пол» и «наличие детей». Исходная выборка состояла из 7000 профилей пользователей, 34884 профилей групп, а также информации о подписках пользователей на определенные группы. В результате работы тематической модели были получены 36 латентных тем сообществ. После этого профили пользователей были дополнены признаками вида «численность подписок на группы темы N » и «численность

лайков в группах темы N ». Для построения модели классификации использовалась библиотека градиентного бустинга CatBoost с метрикой качества $F1$ -score. В результате качество на валидационной и тестовой выборках для задачи определения родительского статуса пользователя составило 0.923 и 0.902, а для задачи определения пола — 0.762 и 0.795 соответственно.

Список литературы

- [1] Коршунов А. и др. Анализ социальных сетей: методы и приложения // Тр. Ин-та системного программирования РАН. 2014. Т. 26. № 1. С. 439–456.
- [2] Воронцов К. и др. BigARTM: Библиотека с открытым кодом для тематического моделирования больших текстовых коллекций // Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных. 2015. С. 28–36.

3.10. Кензин М.Ю. Ситуационная осведомленность распределенной группы автономных мобильных роботов в условиях ограниченной коммуникации

На данный момент, использование скоординированных групп автономных мобильных роботов является одним из наиболее перспективных методов для решения целого ряда оперативных задач в различных природных средах. Надежность таких многокомпонентных систем во многом зависит от их способности эффективно адаптировать свое поведение в динамически изменяющихся условиях. Эта способность обеспечивается поддержанием высокого уровня ситуационной осведомленности, когда информация о любых происходящих изменениях и наблюдаемых событиях незамедлительно распространяется внутри действующей группы [1]. Информирование всех членов группы об изменениях, способных повлиять на успех миссии, является нетривиальной задачей для больших группировок, особенно в условиях ограниченной коммуникации [2].

Рассматривается задача поиска такого маршрута движения для робота, обладающего важной информацией, который обеспечил бы скорейшее оповещение распределенной группы роботов, функционирующей в заданном регионе. Предложена упрощенная постановка задачи, в которой роботы перемещаются по вершинам графа (областям интереса) на дискретном времени, а передача информации может осуществляться только в рамках общей вершины. Ключевой особенностью постановки является тот факт, что каждый робот, получивший обновленные данные, тут же прекращает выполнение своих текущих целей и присоединяется к задаче группового оповещения. Исследуемая постановка объединяет в себе черты мультиагентных дискретных моделей и задач групповой маршрутизации [3].

В работе предлагается ряд конструктивных эвристик для построения начального маршрута

в виде группового расписания, а также процедура локального поиска для его дальнейшего улучшения. Приведены результаты сравнительного анализа эвристик, а также рассмотрены схемы для генерации набора реалистичных тестовых задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-07-00397).

Научный руководитель — акад. И. В. Бычков.

Список литературы

- [1] GAN S. K., XU Z., SUKKARIEN S. Distributed situational awareness and control // Encyclopedia of Aerospace Eng. 2016. P. 1–11.
- [2] PAPP Z. Situational awareness in intelligent vehicles // Handbook of Intelligent Vehicles. 2012. P. 61–80.
- [3] KENZIN M. YU., ВУСНКОВ I. V., МАКСИМКИН N. N. Situational awareness for distributed mobile robot teams under limited communication // Proc. 2nd Intern. Workshop «ICCS-DE-2020». Irkutsk, 2020. P. 46–155.

3.11. Кондратьев Д.А. На пути к дедуктивной верификации C-программ, расширенных циклами языка Cloud Sisal

В ИСИ СО РАН разрабатывается система верификации C-lightVer [1]. Это система дедуктивной верификации C-программ. Промежуточным языком верификации в данной системе является C-kernel [2]. Для языка C-kernel была разработана аксиоматическая семантика. Система C-lightVer основана на трансляции входных программ на язык C-kernel и дедуктивной верификации полученных C-kernel программ.

Также в ИСИ СО РАН разрабатывается система облачного параллельного программирования (CPPS) [3]. Входным языком данной системы является Cloud Sisal [3]. Главной особенностью системы CPPS является неявный параллелизм, реализованный как векторизация циклических выражений языка Cloud Sisal. Специальная форма задания таких выражений позволяет эффективно векторизовать их.

Также основой языка Cloud Sisal являются выражения создания массивов и выражения замещения элементов массивов. Выражение создания массива позволяет создать массив, значения элементов которого определены с помощью итераций специального вида. Выражение замещения элементов массива позволяет создать массив, отличающийся от исходного значениями элементов, соответствующих определенным итерациям.

Ранее была разработана аксиоматическая семантика для подмножества языка Cloud Sisal, называемого Cloud-Sisal-kernel [4]. Эта семантика включает правило вывода для циклических выражений. Это правило основано на замене действия цикла на специальную рекурсивную функцию. Такая замена позволяет избежать задания инварианта цикла. Аналогичная семантика была разработа-

на для выражений создания массивов и выражений замещения элементов массивов, также входящих в язык Cloud-Sisal-kernel.

Для повышения эффективности вычислений возникла задача расширить язык C циклами языка Cloud Sisal. Первым результатом представленного исследования является расширение языка C-kernel циклическими выражениями языка Cloud-Sisal-kernel. Аналогичным образом язык C-kernel был расширен выражениями создания массивов и выражениями замещения элементов массивов. Полученный язык назван C-Sisal-kernel.

Вторым результатом представленного исследования является расширение аксиоматической семантики языка C-kernel правилом вывода для циклических выражений языка Cloud-Sisal-kernel. Кроме того, аксиоматическая семантика языка C-kernel была расширена правилами вывода для выражений создания массивов и выражений замещения элементов массивов. Полученная семантика является аксиоматической семантикой языка C-Sisal-kernel. Также в данном исследовании представлен эксперимент по верификации программы на языке C-Sisal-kernel. Данная программа суммирует элементы матрицы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-11-00118).

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Промский А. В.

Список литературы

- [1] Кондратьев Д. А. Расширение системы C-light символическим методом верификации финитных итераций // Вычисл. технологии. 2017. Т. 22. XVII Всерос. конф. молодых ученых по мат. моделированию и информ. технологиям. С. 44–59.
- [2] NEPOMNIASCHY V. A., ANUREEV I. S., PROMSKII A. V. Towards verification of C programs: Axiomatic semantics of the C-kernel languages // Programming and Comp. Software. 2003. Vol. 29. N. 6. P. 338–350.
- [3] KASYANOV V., KASYANOVA E. Methods and system for cloud parallel programming // Proc. 21st Intern. Conf. on Enterprise Inform. Systems. Heraklion, 2019. Setubal: SciTePress, 2019. P. 623–629.
- [4] KONDRATYEV D. A., PROMSKY A. V. Towards verification of scientific and engineering programs. The CPPS project // Computational Technologies. 2020. Vol. 25. N. 5. P. 91–107.

3.12. Костин С.В., Якимайнен Д.С. Использование технического зрения в задачах сортировки бытовых отходов

В настоящее время многие технологические процессы, требующие ручного труда, активно автоматизируются путем внедрения роботизированных комплексов. Вследствие растущей актуальности задач переработки отходов, предприятия этой отрасли активно внедряют альтернативные подходы для сортировки мусора, например оснащают сортировочные линии роботами. Сегодня в России насчи-

тывается всего несколько компаний, разрабатывающих роботизированные системы для сортировки отходов — сибирские «Экосорт» и «Экотех», а также санкт-петербургский «NeuroRecycle». Среди зарубежных можно выделить компании ZenRobotics (Финляндия), Waste Robotics (Канада) и AMP Robotics (США) [1].

Основываясь на существующих способах сортировки отходов [2], цель данного исследования можно сформулировать следующим образом. Необходимо разработать роботизированную технологическую линию сортировки бытовых отходов на основе технического зрения. Требуемая высокая скорость и точность позиционирования обосновывает выбор дельта-роботов в качестве исполнительных элементов сортировочной линии. При этом одной из главных подзадач проекта является распознавание типов мусора и его классификация на основе технологий искусственного интеллекта. Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- 1) проведен первичный анализ статистических данных и современных методов распознавания образов;
- 2) проанализированы существующие отечественные и зарубежные решения;
- 3) проведен анализ используемых для распознавания мусора нейросетевых моделей (их возможностей, архитектур, фреймворков) и обоснована целесообразность их использования;
- 4) осуществлен выбор инструментальных средств для обучения нейросети с использованием локальных и облачных технологий;
- 5) согласован протокол взаимодействия нейросетевой системы распознавания с роботизированной технологической линией сортировки мусора.

По результатам проведенного анализа был обоснован выбор метода распознавания мусора с использованием видеоданных в видимом спектре. Для классификации мусора по данным видеопотока от RGB-камеры использовалась обученная свёрточная нейронная сеть (CNN) YOLOv3-v4 [3] с применением облачных сервисов Google Colab, API TensorFlow и DeepSort [4]. Показано, что избирательный нейросетевой модуль, базирующийся на данных в видимом спектре, более эффективен по сравнению с аналогами, он характеризуется меньшей вычислительной сложностью, простотой реализации и меньшей себестоимостью.

Работа выполнена в рамках гранта ФСИ «Разработка роботизированной технологической линии сортировки бытовых отходов на основе технического зрения», договор от 04 июля 2020 г. № 15536ГУ/2020.

Научный руководитель — к.т.н, Шамраев А. А..

Список литературы

- [1] Бойко А. Сортировка мусора и отходов — Умный город и роботы. [Электронный ресурс]. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/1711-uborka-i-sortirovka-musora> (Дата обращения 02.10.2020).
- [2] HANCU O. Aspects concerning the optimal development of robotic systems architecture for waste sorting tasks // Proc. 8th Intern. Conf. Adv. Concepts in Mech. Eng. Iasi, Romania, 2018. P. 2–6.
- [3] ВОСНКОВСКИЙ А., WANG С., LIAO Н. YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection // arXiv:2004.10934 [cs.CV]. 2020. P. 1–17.
- [4] AVID O. Deep sort with TensorFlow. [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/hunglc007/tensorflow-yolov4-tflite> (Дата обращения 12.10.2020).

3.13. Костылева О.Д., Парамонов В.В. О моделировании экстремальных климатических явлений на основе методов машинного обучения

В работе рассматривается задача прогнозирования возникновения экстремальных климатических явлений. Данная задача представляет интерес, поскольку, даже в пределах одного государства резкие изменения климата является актуальной проблемой. В ряде стран поддерживается политика климата, которая регулярно корректируется, в зависимости от результатов новых исследований, климатической политики других стран и общественных настроений в целом [1]. Построение, предлагаемой прогнозной модели состоит из трех этапов:

- извлечение и организация данных;
- моделирование с применением различных методов машинного обучения;
- оценка качества полученных моделей.

Прогнозная модель, разрабатывалась и апробировалась для территории Новой Зеландии. В модели использованы два набора данных — для формирования признаков (включает измерения различных характеристик на выбранной территории), и классификации (используется для установления зависимостей). Источниками данных являются информационные ресурсы National Oceanic and Atmospheric Administration¹ и ClimateDataGuide².

Анализ данных, выявление зависимостей и прогнозирование экстремальных климатических явлений проводится с использованием методов машинного обучения с учителем. Для этого рассматривались метод случайного леса и метод опорных векторов.

Был разработан модуль на языке Python, в котором ежедневные осадки суммируются по сезонам и разбиваются на классы «dry» («сухой»), «normal» («нормальный») и «wet» («влажный») в зависимости от значений. Ретроспективные данные о температуре поверхности воды, относительной влажно-

сти и количестве осадков, используемые для классификации, были получены с ресурса National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) в бинарном формате NetCDF [2]. Для их извлечения также был разработан программный модуль.

При обучении модели использовался пакет SciKit Learn. Эксперименты показали, что точность прогноза на обучающей и контрольной выборках для метода случайного леса составляет 92–98% и 75%, а для метода опорных векторов — 95–98% и 58–66% соответственно. Для последнего метода была выполнена проверка работы модели на более простом разбиении на классы, а именно на 2 класса «dry» и «wet». Как и ожидалось, точность повысилась (70–75%), однако оценка прогноза с двумя классами не столь эффективна, поскольку присутствует большая разница в значениях.

По результатам исследования созданы две модели [3], позволяющие с достаточно высокой точностью прогнозировать вероятность возникновения экстремальных климатических явлений. В итоге были предложены модели, основанные на двух методах машинного обучения. Наиболее качественным оказался метод случайного леса.

Работа выполнена в Институте математики и информационных технологий Иркутского государственного университета

Список литературы

- [1] Экстремальные погодные явления возглавили список глобальных рисков. Климатический центр Росгидромета: Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 2013–2020. [Электронный ресурс]. URL: <http://cc.voeikovmgo.ru/ru/novosti/sobytiya/164-ekstremalnye-pogodnye-yavleniya-vozglavili-spisok-globalnykh-riskov> (Дата обращения 01.02.2020).
- [2] What Is netCDF? 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/docs/faq.html> (дата обращения 01.04.2020).
- [3] NYADZI E., WERNERS E.S., BIESBROEK R. ET AL. Verification of Seasonal Climate Forecast toward Hydroclimatic Information Needs of Rice Farmers in Northern Ghana // Wea. Clim. Soc. 2019. N. 11. P. 127–142.

3.14. Кузнецова И.В. Разработка и реализация системы комплексного анализа метроритмических характеристик русских поэтических текстов

В литературоведении существует необходимость автоматизации анализа различных уровней структуры стиха, а также автоматизированного составления на основе такого анализа метрических справочников к корпусам стихов, словарей рифм и конкордансов.

Целью настоящей работы является автоматизация процесса анализа поэтических текстов на низших структурных уровнях, а именно определение метра и ритма поэтического текста. Существующие

¹<https://www.noaa.gov>

²<https://climatedataguide.ucar.edu>

автоматизированные системы с некоторой точностью определяют метр и ритм, однако она недостаточно высока. Неточность в определении метроритмических характеристик автоматизированными системами была связана с проблемами выявления нужной формы омографов («зАмок» или «замОк»?) и возникновения проклитик («уронили мишку на пол»). Одним возможным решением этих проблем является метод «по аналогии». Строки и строфы с неоднозначной расстановкой ударений сравниваются со строками и строфами, в словах которых ударения расставляются однозначно, и производится выбор ударения, обеспечивающего единство метрической характеристики для всего стихотворения.

Задачей данной работы было реализовать алгоритм определения метра и ритма из работы [1] с учетом проблем, описанных выше. Тестировать и произвести сравнение результатов данного алгоритма и более простого алгоритма из работы [2] уже существующей системы <http://poem.ict.nsc.ru>, разработанной в ФИЦ ИВТ.

В работе предложены алгоритмы определения метроритмических характеристик, учитывающие особенности русского языка, описанные выше. Предложено два алгоритма определения типа рифмы стихотворения с учетом правил произношения. Выполнено тестирование и сравнение результатов работы данной системы определения метра и стопности с аналогом на предварительно составленной выборке. Разработанная система показала более высокие проценты точности в определении метра, стопности — 95.5% и рифмы — 100% в сравнении с аналогом.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-18-00466).

Научный руководитель — д.т.н. Барзанин В. Б.

Список литературы

- [1] Бойков В. Н., Каряева М. С., Соколов В. А. Об автоматической спецификации стиха в информационно-аналитической системе // EUR Workshop Proc. 2015. Vol. 1536. С. 144–151.
- [2] Козьмин А. В. Автоматический анализ стиха в системе Starling // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: Тр. Междунар. конф. «Диалог 2006». Бекасово: Изд. центр РГГУ, 2006. С. 265–268.

3.15. Лебедев Р.К. Универсальный метод защиты программ от символьного исполнения, основанный на гипотезе Коллатца

В настоящий момент одним из традиционных методов обратной разработки программ является символьное исполнение. Этот подход позволяет представлять регистры процессора и содержимое оперативной памяти как переменные и составлять уравнения для них из встреченных в процессе исполнения программы условий и циклов. Уравнения затем

решаются при помощи SMT-решателей. Таким образом, без полного перебора обеспечивается достижимость большинства ветвей программы, включая, например, проверку лицензионных ключей или прочих мест, достижение которых исследователями является нежелательным с точки зрения автора программы.

Однако подход символьного исполнения имеет некоторые трудноразрешимые проблемы, которые можно использовать для защиты чувствительных участков кода. Одной из таких проблем является «path explosion» (или «экспоненциальный взрыв») — экспоненциальный рост числа путей исполнения с каждым встреченным условием. Классической иллюстрацией этого явления является гипотеза Коллатца.

$$a_0 = n, n \in \mathbb{N}$$
$$a_{i+1} = \begin{cases} a_i/2 & \text{если } a_i \equiv 0 \pmod{2} \\ 3a_i + 1 & \text{если } a_i \equiv 1 \pmod{2} \end{cases}$$

Утверждается, что для любого начального n существует такое i , что $a_i = 1$. Как можно заметить, благодаря наличию условия на каждом этапе подсчета a_i , код проверки данной гипотезы может спровоцировать экспоненциальный взрыв при анализе инструментами символьного исполнения.

Существуют работы, использующие данную гипотезу для целей защиты от символьного анализа, однако они ограничены обфускацией условий и требуют внесения нетривиальных изменений в код программы, что делает их применимыми в ограниченном числе сценариев [1, 2].

В рамках данной работы предложен универсальный метод защиты, который позволяет ограничиться добавлением в программу полностью независимого кода, выступающего в роли барьера для символьного исполнения. Это позволяет добиться следующих свойств:

- возможность применения защиты вручную, без использования обфусцирующих компиляторов;
- возможность защищать любой код, в том числе и не содержащий ни единого условия.

Разработанный метод показал эффективность против инструмента символьного исполнения `angr` [3], а влияние его на время исполнения программы оказалось незначительным.

Научный руководитель — д.т.н. Павский К. В.

Список литературы

- [1] WANG Z. ET AL. Linear obfuscation to combat symbolic execution // Proc. Eur. Symp. on Res. in Comp. Security. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. P. 210–226.
- [2] QIN S. ET AL. A method of JavaScript path obfuscation based on Collatz conjecture // Proc. 12th Web Inform. Syst. and Appl. Conf. (WISA). IEEE, 2015. P. 330–333.
- [3] SHOSHITAISHVILI Y. ET AL. SOK: (State of) The art of war: Offensive techniques in binary analysis // Proc. Symp. on Secur. and Priv. IEEE, 2016. P. 138–157.

3.16. Никулин В.С., Пестунов А.И. Оценка характеристик эксплуатационной надежности вычислительных комплексов адаптированным методом Парзена — Розенблатта

Выявление причин отказов для уменьшения их влияния на надежность и эффективность вычислительных комплексов, а также прогнозирование отказов оборудования с целью планирования организационно-технических мероприятий по поддержанию работоспособности являются основными задачами организации наблюдений за эксплуатационной надежностью [1]. Решению этой задачи в наибольшей степени отвечает статистическое точечное оценивание, заключающееся в нахождении плотности или функции распределения времени до отказа для выбранных объектов анализа [2]. Применение непараметрических методов для оценки характеристик эксплуатационной надежности вычислительных комплексов связано с отсутствием априорной информации о реальном законе распределения отказов [3, 4].

В настоящей работе решается задача выбора управляющих параметров непараметрического метода Парзена — Розенблатта: ядра функции и параметра локальности [5]. Обоснован выбор функции Гаусса с зеркальным отображением в качестве ядра для компенсации смещения исходных данных и косинусной меры в качестве параметра локальности. Показано, что такое сочетание управляющих параметров позволяет повысить точность и сократить время на обучение по сравнению с альтернативными вариантами [6].

Метод зеркального отображения исходных данных необходим для замены симметричного ядра

$$\frac{K(t-x)}{d}$$

(в нашем случае — гауссовского ядра) свернутым (отраженным) нормальным ядром с установлением в ноль нижней границы области определения функции распределения [2]. В этом случае для единичной наработки функция распределения $F(t)$ имеет вид

$$F(t) = \left[\frac{K(t-x)}{d} + \frac{K(t+x)}{d} - 1 \right].$$

Эксперимент по оценке точности адаптированного метода проведен на наборе данных, полученных в процессе эксплуатации вычислительных комплексов в период с 12.10.2017 по 29.12.2019 [7]. На сформированном наборе данных произведен сравнительный анализ традиционного непараметрического метода с адаптированным непараметрическим методом Парзена — Розенблатта. При реализации методов, был использован пакет `scikit-learn` в Python 3.7. Функцией оценки качества является точность (Accuracy или Mean Consequential Error),

означающая долю объектов, на которых алгоритм выдал правильные ответы:

$$\text{MCE} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [y_i = x_i]. \quad (1)$$

Результаты эксперимента показывают, что средняя точность оценки оптимизированного метода достигает 92.54%, что эффективнее традиционного алгоритма. Полученная плотность и функция распределения предоставляют наибольшую информацию для анализа надежности оборудования и на их основе могут быть получены основные показатели безотказности, такие как комплексный критерий готовности и наработка на отказ.

Список литературы

- [1] Скрипник В.М. Анализ надежности технических систем по цензурированным выборкам / М.: Радио и связь, 1988. 184 с.
- [2] Бостанджиян В.А. Пособие по статистическим распределениям / Черноголовка: Редакционно-изд. отд. ИПХФ РАН, 2013. 1060 с.
- [3] Антонов А.В., Никулин М.С. Статистические модели в теории надежности / М.: Абрис, 2012. 390 с.
- [4] Деврой Л., Дьёрфи Л. Непараметрическое оценивание плотности. L1-подход / М.: Мир, 1988. 408 с.
- [5] PARZEN E. On estimation of a probability density function and mode. 33rd ed. // *Annals of Math. Stat.* 1962. P. 1065–1076.
- [6] ЗАХАРОВ Д.Н., НИКУЛИН В.С. Анализ методов статистической оценки эксплуатационной надежности вычислительных комплексов // *Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли.* 2020. Т. 12. № 1. С. 64–69.
- [7] Никулин В.С. Методика подготовки данных для интеллектуального анализа надежности вычислительных комплексов // *Вест. СИБГУТИ.* 2020. № 3. С. 26–37.

3.17. Павский К.В., Павский В.А., Ефимов А.В. Математическая трехпараметрическая модель для вычисления показателей надежности и живучести масштабируемых вычислительных систем с переключением

Основной особенностью масштабируемых вычислительных систем (ВС) является модульность. Нарастание производительности в таких системах достигается за счет увеличения однотипных элементов, элементарных машин (например, вычислительный узел). В результате отказов производительность системы изменяется и обостряет проблему надежности и увеличивает сложность организации эффективного функционирования [1]. Рассматривая ВС как объект стохастический, при его анализе можно оценить потенциальные возможности вычислительной системы.

Для количественного анализа функционирования масштабируемых вычислительных систем используют показатели живучести, связанные с надежностью [2]. При определении показателей живучести

следует учитывать, что параллельные программы сложных задач при их реализации на живучих ВС способны задействовать суммарную производительность всех работоспособных элементарных машин (узлов), число которых не фиксировано.

Наиболее распространенными в теории вычислительных систем при анализе надежности являются модели, основанные на теории марковских процессов и теории массового обслуживания (ТМО). Большинство аналитических моделей ТМО не учитывает время переключения (реконфигурации) как отдельный параметр, ввиду сложности решения. Обычно ограничиваются тем, что время восстановления и переключения объединяют в один параметр [3]. В своей работе на примере одной модели ТМО мы получили аналитические решения системы дифференциальных уравнений вероятностей состояний ВС с тремя параметрами (отказ, восстановление и переключение) для расчета показателей надежности и потенциальной живучести. Тем самым предоставляется возможность пользователю самому определить, учитывать ли время переключения.

В работе предложены аналитические решения для распределения вероятностей состояний системы и для расчета показателей потенциальной живучести в случае модели с тремя параметрами. Показано, что решения трехпараметрической модели сводятся к решениям двух параметрической модели, если не принимать во внимание время переключения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-07-00624).

Список литературы

- [1] GUPTA S., PATEL T., ENGELMANN C., TIWARI D. Failures in large scale systems: Long-term measurement, analysis, and implications // SC'17: Proc. of the Intern. Conf. for High Perf. Comp., Networking, Storage and Anal. Denver, Colorado, 2017. N. 44. P. 1–12.
- [2] Хорошевский В. Г. Архитектура вычислительных систем / М.: МГТУ им. Баумана, 2008. 520 с.
- [3] MOR NARCHOL-BALTER Performance modeling and design of computer systems: Queueing theory in action / Cambridge Univ. Press, 2013.

3.18. Полянский А.Н., Амаров А.А., Карижов А.А. Система обнаружения аномальной активности в сетях пакетной передачи данных

Повсеместное распространение глобальных и локальных телекоммуникационных сетей изменило вычислительные системы, которые стали более связанными и менее защищенными от действий злоумышленников. Складывается устойчивая тенденция к росту количества атак на вычислительные системы и сети. Технологии, средства и методы удаленных сетевых атак постоянно совершенствуются, и существующие средства защиты не позволяют

полностью пресекать злонамеренный трафик. Эти обстоятельства делают разработку и внедрение методов и средств защиты информации в вычислительных сетях весьма актуальной задачей [1, 2].

Обнаружение вторжений можно определить, как интеллектуальный мониторинг событий, протекающих в сетях передачи данных, их анализ на наличие признаков нарушения политики безопасности или обхода механизмов безопасности. Достижение приемлемых уровней защиты информационных ресурсов невозможно применяя исключительно алгоритмические или программно-аппаратные решения [3]. Средства обнаружения вторжений должны включать интеллектуальные подсистемы, по крайней мере, в качестве одной из составных частей.

Целью данного исследования является разработка интеллектуальной системы обнаружения вторжений, основанной на использовании искусственных нейронных сетей. Для обучения нейронной сети использовался набор данных [4], содержащий 41 параметр, описывающий сетевое соединение, и соответствующий им тип атаки или легальной активности. Выявление существенных признаков в структуре данных показало 9 параметров, обеспечивающих наиболее полное и релевантное описание сетевого соединения. Результаты обучения и тестирования спроектированной нейронной сети показывают возможность ее применения в качестве классификатора для системы обнаружения сетевых атак.

Список литературы

- [1] МУСТАФАЕВ А. Г. Применение искусственных нейронных сетей в разработке системы обнаружения вторжений // Промышленные АСУ и контроллеры. 2018. № 7. С. 17–26.
- [2] MUSTAFAEV A. G. Application of artificial neural networks in the intrusion detection system // Intern. J. Inform. Technol. and Security. 2018. Vol. 10. N. 4. P. 57–66.
- [3] MUSTAFAEV A. G., ВУСНАЕВ А. Y. A reliable authentication method for the Internet of Things devices // 2020 Intern. Conf. on Inform. Technol. (InfoTech). Varna, Bulgaria, 2020, P. 1–3.
- [4] KDD Cup 1999 [Электронный ресурс] URL: <http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99> (Дата обращения: 13.10.2020).

3.19. Прохоров Д.И. Применение алгоритма редукции цифрового изображения для вычисления персистентных диаграмм порового пространства породы в процессе химического растворения

Потребность в оценке характеристик процесса, изменяющего поровое пространство породы с течением времени, возникает в ряде различных задач: захоронение углекислого газа в карбонатных пластах, кислотная обработка пласта, биологически-активированная кальцитизация сыпучих материалов и др. Такой процесс может быть описан набором последовательных цифровых изображений,

где каждому изображению соответствует состояние горной породы в конкретный момент дискретного времени. Примером такой последовательности является серия томографических снимков образца горной породы, помещенного в резервуар с растворителем. Если последовательность монотонна, то можно рассматривать ее как серию вложенных топологических пространств. В вычислительной топологии она называется фильтрацией. Для данной фильтрации можно посчитать топологические инварианты — персистентные диаграммы. Персистентные диаграммы оценивают топологическую сложность фильтрации. Их важное для приложений свойство — устойчивость по отношению к возмущениям фильтрации.

В трехмерном пространстве не равны нулю только 0-, 1- и 2-мерные персистентные диаграммы. Вычисление 0- и 2-мерных не требует больших вычислительных ресурсов. Для одномерных используется алгоритм Эдельсбруннера — Летшера — Зомородяна, который имеет кубическую сложность от количества вокселей в изображении.

В работе представлен алгоритм редукции цифрового изображения согласованный с алгоритмом Эдельсбруннера — Летшера — Зомородяна. Проведена оценка его эффективности в зависимости от параметров исходного изображения: пористости и длины корреляции, а также от величины шага фильтрации. Оценка была проведена как на реальных изображениях, так и на обширной выборке образцов, полученных с помощью статистического моделирования.

В результате показано, что с помощью редукции можно ускорить вычисление 1-мерных персистентных диаграмм. Хотя эффективность существенно зависит от параметров изображения.

3.20. Рылов С.А. Применение активного обучения в рамках объектного подхода для классификации спутниковых снимков

В настоящее время известные методы автоматизированного выделения водной поверхности по данным оптической спутниковой съемки основаны на использовании спектральных характеристик пикселей. Однако такой подход плохо работает на снимках высокого разрешения и при отсутствии должной предварительной коррекции, т.к. в таких случаях спектральные характеристики водных объектов и других классов могут пересекаться. Повысить качество выделения водных объектов возможно с помощью привлечения геометрических признаков в рамках объектной модели сегментации изображений. Но при этом усиливается проблема достаточного объема обучающей выборки (ОВ) [1].

Был предложен новый метод выделения водных объектов на мультиспектральных спутниковых изображениях с использованием активного обуче-

ния и объектного подхода, позволяющий учитывать не только спектральные, но и геометрические характеристики. Для сочетания разнотипных признаков был разработан новый алгоритм классификации по типу дерева решений, который позволяет работать в условиях крайне малого объема ОВ. Активное обучение заключается в том, что метод интерактивно просит пользователя указать класс для определенных объектов с целью максимального повышения качества ОВ. В рамках разработанного метода была предложена стратегия активного обучения на основе граничного подхода.

Экспериментальные исследования на спутниковых снимках Метеор-М и WorldView-3 показали, что учет геометрических признаков позволяет успешно выделять водную поверхность в тех ситуациях, где использование лишь спектральных характеристик оказывается недостаточным. Сравнения зависимости точности классификации от объема обучающей выборки показали, что применение активного обучения позволяет многократно сократить объем обучающей выборки, необходимый для получения высокой точности классификации.

Таким образом, предложенный метод способен эффективно выделять водные объекты на мультиспектральных спутниковых изображениях в сложных условиях с минимальными временными затратами со стороны пользователя. В дальнейшем разработанный подход планируется применить и к другим практическим задачам.

Список литературы

- [1] HUANG X., XIE C., FANG X., ZHANG L. Combining pixel- and object-based machine learning for identification of water-body types from urban high-resolution remote-sensing imagery // IEEE J. Sel. Topics in Appl. Earth Observ. and Remote Sens. 2015. Vol. 8. N. 5. P. 2097–2110.

3.21. Толстихин А.А. Стохастический подход к обследованию нестационарных физических полей группой мобильных роботов

Физическое поле — это объект, описываемый скалярным, векторным или иным математическим полем. Существует широкий спектр объектов реального мира, которые можно представить в виде физического поля, например, электромагнитное поле, а также распространение нефтяного пятна или некоего биологического вида. Таким образом, в зависимости от природы физического поля, его обследование и изучение может носить как прикладной, так и фундаментальный характер [1].

Особый интерес вызывает обследование нестационарных физических полей. В этом случае характеристики физического поля не фиксированы во времени и могут изменяться по некоему заранее неизвестному закону [2]. При решении подобной задачи разумно использовать скоординированную группу автономных роботов. Такой подход позволяет со-

кратить общее время решения задачи, что приводит к снижению затрат на ее проведение [3].

В данной работе предлагается подход к поиску источников двумерного нестационарного физического поля с помощью скоординированной группы автономных мобильных роботов. Ядром данного подхода является популяционный алгоритм оптимизации на базе гибридизации Whale Optimization Algorithm и Grey Wolf Optimizer. Данный алгоритм позволяет за заданное количество итераций естественным образом собрать поисковую группу в окрестности источника с наибольшей интенсивностью. Для решения задачи в нестационарной постановке предложен ряд модификаций, основанный на построении диаграммы Вороного, который реализует механизм забывания старых замеров, потерявших актуальность, и обеспечивает более равномерное обследование области поиска.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-11-00053).

Научный руководитель — д.т.н. Бычков И. В.

Список литературы

- [1] HWANG J., BOSE N., FAN S. AUV adaptive sampling methods: A review // Appl. Sci. 2019. Vol. 9. N. 3145.
- [2] PANG S., FARRELL J.A. Chemical plume source localization // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. Pt B (Cybernetics). 2006. Vol. 36. N. 5. P. 1068–1080.
- [3] CHEN B., PANDEY P., ROMPIL D. An adaptive sampling solution using autonomous underwater vehicles // IFAC Proc. Vol. 2012. Vol. 45. N. 27. P. 352–356.

3.22. Тухтина Е.А., Пахомова К.И. Библиотека VKsentiment как инструмент для анализа тональности текстовых данных социальных сетей

Анализ тональности текста — задача компьютерной лингвистики, заключающаяся в определении эмоциональной окраски текста. Относится к задаче классификации, где необходимо определить, является ли выраженное в тексте мнение позитивным, негативным или нейтральным. В данной работе авторы предлагают автоматизировать процесс анализа тональности публикаций социальных сетей посредством разработки библиотеки на языке Python.

Зачастую исследователи предпочитают выбирать уже готовые решения для интеллектуального анализа больших объемов текстовых данных. В настоящее время в свободном доступе существуют две Python библиотеки, позволяющие оценить тональность русскоязычного текста посредством моделей машинного обучения: DeepPavlov [1] и Dostoevsky. Однако для решения конкретных прикладных проблем функционала описанных библиотек недостаточно. Исследователю потребуется самостоятельно создавать отдельные функции для сбора данных и обобщения полученных моделью результатов. Библиотека VKsentiment позволяет оптимизи-

ровать эти процессы, предоставляя удобный функционал для оперативной обработки больших массивов текстовых данных и получения информативных результатов.

Библиотека VKsentiment представляет собой набор готовых функций для анализа тональности текстовых данных социальных сетей. Проект состоит из двух основных модулей:

- comments_scraping;
- comments_analysis.

Тематические сообщества социальной сети «ВКонтакте» являются источниками пользовательских мнений практически на любую тематику. Модуль comments_scraping позволяет извлечь комментарии из сообществ «ВКонтакте», в которых открыт доступ к комментированию записей. Реализован с помощью пакета vk_api. Основная логика содержится в методе get_comments класса CommentsScraper. В качестве аргументов метод принимает числовой идентификатор сообщества и число комментариев, которое необходимо получить. На выходе создается текстовый файл формата .tab с полученными комментариями. Если исследователю требуется проанализировать данные из другой социальной сети, то необходимо воспользоваться соответствующим API и представить данные в формате .tab.

Модуль comments_analysis позволяет провести анализ тональности текстовых данных и обобщение полученных результатов. Класс CommentsResearcher содержит метод get_sentiment, который в качестве аргумента принимает текстовый файл с данными формата .tab. В результате выполнения метода создается файл с отчетом в формате .txt. В нем содержится информация о распределении текстовых сообщений по трем классам: негативные, позитивные, нейтральные. В качестве классификатора используется модель FastTextSocialNetworkModel из библиотеки Dostoevsky, обученная на наборе данных RuSentiment [2].

Таким образом, библиотека VKsentiment позволяет значительно упростить процесс оценки тональности текстовых данных социальных сетей. Исследователь может провести анализ собственной выборки данных, или воспользоваться модулем для извлечения комментариев из сообществ «ВКонтакте», подобрав сообщества, тематика которых соответствует объекту исследования.

Список литературы

- [1] BURTSEV M., SELIVERSTOV A., AIRAPETYAN R. ET AL. DeepPavlov: Open-source library for dialogue systems // Proc. ACL 2018, Syst. Demonstrations. 2018. P. 122–127.
- [2] ROGERS A., ROMANOV A., RUMSHISKY A. ET AL. RuSentiment: An enriched sentiment analysis dataset for social media in Russian // Proc. 27th Intern. Conf. on Comput. Linguistics. 2018. P. 755–763.

3.23. Файб С.В. Детектирование звука сердечного сокращения при помощи методов машинного обучения

Мониторинг сердечного ритма с использованием акустического микрофона является важным аспектом анализа жизненных показателей организма. Кроме частоты сердечных сокращений звук может нести в себе информацию о событиях, происходящих как внутри живого организма, так и в окружающей среде. В работе используется мобильное микропроцессорное устройство, которое принимает данные с цифрового микрофона и передает их на сервер. Разрабатываемая интеллектуальная система позволит решать широкий спектр задач: мониторинг частоты сердечных сокращений, детектирование симптомов сердечно-сосудистых заболеваний, физиологические состояния, анализ окружающей среды.

Целью настоящего исследования является разработка алгоритма детектирования сердцебиения из звукового ряда с использованием методов машинного обучения. Информационная база, предназначенная для обучения и тестирования моделей, сформирована путем записи звука с поверхности организма в первой точки аускультации. В качестве признаков для обучения моделей были использованы мел-частотные кепстральные коэффициенты [1]. В ходе разработки и тестирования интеллектуальной системы использовались различные методы машинного обучения: нейронные сети, сверточные нейронные сети, рекуррентные нейронные сети, метод k -ближайших соседей. Разработанные алгоритмы реализованы на языке программирования Python с использованием библиотек scikit-learn, tensorflow и keras.

Выполнен качественный и количественный сравнительный анализ результатов работы моделей машинного обучения по распознаванию звука сердечного сокращения в различных звуковых сценах. В дальнейшем планируется обучить интеллектуальную систему классифицировать физиологические и внешние акустические события.

Научное исследование выполнено при поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ, проект № 8.2.03.2020.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Фролов О. Ю.

Список литературы

- [1] DAVIS S., MERMELSTEIN P. Comparison of parametric representations for monosyllabic word recognition in continuously spoken sentences // IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Proc. 1980. Vol. 28. Iss. 4. P. 357–366.

3.24. Холодилов А.А., Холодилова М.В. Повышение качества трехмерной печати изделий сложных форм путем применения комплексного воздействия в рамках физико-математического подхода

В настоящее время в России и за рубежом в различных отраслях промышленности имеется тенденция к расширению области применения деталей из полимерных материалов. Применение пластмасс различных классов позволяет, с одной стороны, улучшить технико-экономические показатели машин через снижение массы, сокращение трудоемкости изготовления, а с другой — существенно экономить цветные и черные металлы. За последнее десятилетие сформировалось отдельное направление в использовании полимерных материалов — объемное моделирование изделий с применением нового способа — создание прототипа, позволяющее из математической модели, разработанной в специализированной программе, при помощи трехмерного принтера получить послойно физический объект сложной формы. В связи с этим, задача разработки средств повышения качества изделий, выпускаемых посредством трехмерной печати, как на физическом, так и на программно-аппаратном уровне, является актуальной, в том числе, через разработку программного комплекса для моделирования технологии деления трехмерной модели при трехмерной печати изделий из сложных форм, с учетом параметров микроклимата внешней среды, окружающей устройство для 3D-печати.

Объектом исследования, выбрана методология трехмерной печати по технологии FDM — моделирование приемом послойного наплавления нити. Предметом исследования выбрана возможность применения адаптивного подхода к динамически задаваемой толщине слоя и внутреннего заполнения при трехмерной печати, с учетом физических воздействий окружающей среды на данный процесс. Итоговой целью работы является формирование системы повышения качества трехмерной печати изделий сложных форм путем применения комплексного воздействия в рамках физико-математического подхода к системе станок — приспособление — программное обеспечение, посредством: 1) адаптивного подхода к динамически задаваемой толщине слоя в процессе трехмерной печати при составлении УП (управляющей программы); 2) климат-контроля внутреннего контура устройства аддитивного производства (АП) на физическом уровне. Как решение поставленных перед исследованием целей, создано приложение, реализующее данный подход, а также сконструирован физический прототип устройства климат-контроля, термокамеры.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-37-90063).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Смагин С. И.

3.25. *Чирихин К.С.* Теоретико-информационный метод интеграции различных алгоритмов прогнозирования временных рядов

Задача прогнозирования временных рядов имеет множество приложений в разных областях человеческой деятельности и обладает большой практической значимостью [1]. Известно, что для её решения могут успешно использоваться методы сжатия данных [2]. К настоящему времени было предложено большое количество разнообразных алгоритмов сжатия, основанных на разных подходах, и в общем случае заранее неизвестно, какой из них наиболее эффективен для прогнозирования определённого временного ряда. Однако, можно объединить различные алгоритмы сжатия в один метод прогнозирования таким образом, что на результат работы объединённого метода наибольшее влияние оказывает алгоритм, лучше остальных сжимающий ряд (и, следовательно, способный лучше других находить имеющиеся в нём закономерности). Описание такого способа объединения можно найти, например, в [3]. Это позволяет «выбрать» наиболее подходящий алгоритм для прогнозирования данных «автоматически».

В то же самое время, существует огромное число других методов прогнозирования временных рядов — экспоненциальное сглаживание, нейронные сети, модели авторегрессии-скользящего среднего и др. Как и в случае с разными алгоритмами сжатия, точность каждого из этих методов зависит от прогнозируемых данных. В настоящей работе мы описываем модификацию, способную преобразовать любой из подобных методов в метод сжатия. Она позволяет применять вышеупомянутый способ объединения алгоритмов с целью выбора наиболее подходящего из них для прогнозирования ряда. Также мы рассматриваем способ сокращения накладных расходов по времени вычислений, необходимых для выбора наилучшего алгоритма.

Опишем основную идею предлагаемой модификации. Сначала вещественный временной ряд $X = x_1, x_2, \dots, x_t$ преобразуется к ряду с конечным алфавитом $X^{[n]} = x_1^{[n]}, x_2^{[n]}, \dots, x_t^{[n]}$ с помощью процедуры квантования — отрезок возможных значений ряда разбивается на конечное число n пронумерованных интервалов, и каждое значение ряда заменяется номером интервала, в которое оно попадает. Затем, используя произвольный метод прогнозирования γ , мы можем получить оценку вероятности

$$p_\gamma^*(X^{[n]}) = \prod_{i=1}^t p_\gamma^*(x_i^{[n]} | x_1^{[n]}, \dots, x_{i-1}^{[n]}).$$

Если $\gamma(x_1^{[n]}, \dots, x_{i-1}^{[n]}) \in x_i^{[n]}$, то выберем $p_\gamma^*(x_i^{[n]} | x_1^{[n]}, \dots, x_{i-1}^{[n]})$ близкой к 1, иначе близкой к 0.

Затем мы можем получить нужную нам длину кодового слова для $X^{[n]}$ как $-\log_2 p_\gamma^*(X^{[n]})$.

Мы выполнили программную реализацию описываемого подхода. На данный момент поддерживается работа с 7 «настоящими» алгоритмами сжатия и моделью Хольта — Уинтерса (её описание может быть найдено, например, в [4]). В работе рассматриваются примеры прогнозирования реальных и искусственных данных, приводятся случаи, когда подобный подход приводит к повышению точности прогноза.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 19-37-90009 и № 19-47-540001).

Научный руководитель — д.т.н. Рябко Б.Я.

Список литературы

- [1] BOX G. E., JENKINS G. M., REINSEL G. C., LJUNG G. M. Time series analysis: Forecasting and control / John Wiley & Sons, 2015. 712 p.
- [2] RYABKO B., ASTOLA J., MALYUTOV M. Compression-based methods of statistical analysis and prediction of time series / Switzerland: Springer Intern. Publ., 2016. 144 p.
- [3] ЧИРИХИН К. С., РЯБКО В. Ю. Application of artificial intelligence and data compression methods to time series forecasting // Proc. Intern. Workshop «Applied Methods of Statistical Analysis. Statistical Computation and Simulation — AMSA'2019». Novosibirsk: NSTU Publ., 2019. P. 553–560.
- [4] HYNDMAN R. J., ATHANASOPOULOS G. Forecasting: Principles and practice / OTexts, 2018. 382 p.

3.26. *Яковлев Г.А., Смирнов С.В., Яковлева В.С.* Особенности автоматизации процессов систем контроля, сбора, обработки и визуализации данных радиационного мониторинга

Мониторинг характеристик полей ионизирующих излучений, характеристик атмосферы, особенно производимый в научных целях, имеет тенденцию к увеличению одновременно регистрируемых радиационных величин, а также к частым изменениям в составе оборудования. В связи с необходимым условием для верификации полученных закономерностей, которым является использование методов измерения одной и той же величины, различающихся по физическому принципу, требуется большое количество измерительных приборов, комплексов, датчиков, для управления которыми в каждом конкретном случае необходима собственная система удаленного контроля за состоянием всего приборного парка, а также автоматизации сбора и обработки данных наблюдений для последующего анализа. Это в результате привело к разработке собственной системы.

Первой и достаточно важной частью разработанной системы является программа, осуществляющая контроль за состоянием приборов и компьютеров Томской обсерватории радиоактивности и ионизирующих излучений ТПУ, т.к. поддержка продол-

жительного и полноценного круглогодичного мониторинга предполагает устранение любых неполадок в работе детекторов, а также срочную замену и ремонт в случае поломки, для чего так необходима актуальная информация о состоянии проведения эксперимента, а также оперативное информирование о сбоях в работе приборов.

Второй составляющей является система автоматического сбора и обработки данных, которая сохраняет самые новые экспериментальные данные на сервере, давая возможность быстрого визуального анализа с целью корректировки эксперимента и нахождению технических неисправностей в работе научного оборудования. Особенностью программы является осуществление поэтапной обработки данных (как для минимизации рисков ошибок в алгоритмах, так и для сохранения промежуточных результатов обработки, которые могут быть использованы в дальнейшем). Алгоритмы обработки данных наблюдений написаны на языке Perl, а также с использованием стандартных утилит для различных способов обработки данных различной структуры. Загруженные на сервер данные могут быть переданы в готовом отформатированном виде пользователю как для визуализации, так и для использования в других системах работы с данными.

Для упрощения этапа визуального анализа собранных данных была разработана программа визуализации данных, с использованием веб-технологий и движка Node.js. Она включает в себя как сервер визуализации, необходимый для передачи данных между сервером данных и клиентом визуализации, благодаря чему достигается своевременное обновление данных, так и клиент, обладающий множеством функций по построению рядов экспериментальных данных, с возможностью гибкой настройки их отображения. Другими преимуществами программы являются ее простота и удобство использования, возможность параллельной работы неограниченного числа пользователей в режиме реального времени, а также поддержка построения и визуализации средствами сторонних программ, таких как MATLAB.

3.27. Яреценко Д.И. Непараметрическое моделирование и управление многомерными системами с зависимыми выходными переменными

Задачи идентификации и управления многомерными дискретно-непрерывными процессами в условиях неполной информации образуют большой и важный класс научно-технических задач. Повышение эффективности работы существующих методов идентификации и управления, а также разработка новых алгоритмов всегда были важными задачами и остаются актуальными на сегодняшний момент [1].

В последнее время имеется ряд обширных исследований в области идентификации и управления сложными системами, но следует отметить, что большинство алгоритмов подобного типа относятся к классу задач, когда имеется априорная информация о параметрической структуре модели объекта или задача сводится к выбору параметрической структуры и дальнейшей оценке входящих в нее параметров [2]. В настоящей работе рассматриваются многомерные системы дискретно-непрерывного характера, отличительной особенностью которых является присутствие стохастической зависимости компонент вектора выходных переменных. Подобные процессы встречаются в добывающей или перерабатывающей промышленности, в стройиндустрии, металлургии, энергетике, в частности, в нефтепереработке, в процессе каталитической гидродепарафинизации низкосазывающего дизельного топлива [3]. При таких условиях математическое описание многомерного объекта сводится к системе неявных нелинейных уравнений, поэтому применение параметрических методов идентификации и управления не приведет к желаемому успеху. Задача идентификации решения системы неявных нелинейных уравнений сводится в поиску прогнозных значений выходных переменных по известным входным. Это и есть основное назначение искомой модели многомерного объекта. Для этого предлагается использование непараметрической двушаговой алгоритмической цепочки, которая позволяет находить прогнозные значения в условиях неполной информации об объекте. Дальнейшее управление подобными системами рассматривается в условиях непараметрической неопределенности и здесь для поиска управляющих воздействий предлагается использование многошагового непараметрического алгоритма. Поэтому в условиях, когда не представляется возможным выбрать параметрическую структуру модели объекта, одним из возможных вариантов решения подобной задачи является использование непараметрических алгоритмов.

Проведенные вычислительные эксперименты по моделированию и управлению многомерными системами с зависимыми выходными переменными показали достаточно хорошие результаты.

Научный руководитель — д.т.н. Медведев А. В.

Список литературы

- [1] МЕДВЕДЕВ А. В. Основы теории непараметрических систем. Идентификация, управление, принятие решений / Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2018. 732 с.
- [2] Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации / М.: Наука, 1984. 320 с.
- [3] АГАФОНОВ Е. Д., МЕДВЕДЕВ А. В., ОРЛОВСКАЯ Н. Ф. и др. Прогнозная модель процесса каталитической гидродепарафинизации в условиях недостатка априорных сведений // Тула: Изд-во ТулГУ, 2018. № 9. С. 456–468.

Алфавитный указатель

Агапов Ефим Вячеславович

Новосибирский государственный университет
экономики и управления (Новосибирск), Россия
agapovefim@gmail.com
Стр. 30

Амаров Абдулмалик Амарович

Дагестанский государственный университет
народного хозяйства (Махачкала), Россия
tarashka@tutaimail.com
Стр. 31, 40

Антонов Роман Андреевич

ДСЦБИ МАСКОМ (Хабаровск), Россия
Стр. 30

Астанина Марина Сергеевна

Томский государственный университет (Томск),
Россия
astanina.marina@bk.ru
Стр. 6

Ахметьянова Альбина Ильшатовна

Башкирский государственный университет (Уфа),
Россия
ai-albina@mail.ru
Стр. 24

Багандов Абдулла Магомедшапиевич

Дагестанский государственный университет
народного хозяйства (Махачкала), Россия
chuvak44@yandex.kz
Стр. 31

Беляев Василий Алексеевич

Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН (Новосибирск),
Россия
belyaevasily@mail.ru
Стр. 18

Беляев Иван Александрович

Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия
ivanbelyaev1708@gmail.com
Стр. 25

Бердников Владимир Степанович

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
СО РАН (Новосибирск), Россия
Стр. 14

Богданова Алена Владимировна

Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия
alena bogdanova2017@gmail.com
Стр. 6

Богомякова Ольга Борисовна

Институт «Международный томографический
центр» СО РАН (Новосибирск), Россия
Стр. 23

Божеева Дарья Михайловна

Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия
dbozheeva@mail.ru
Стр. 7

Борисенко Даниил Андреевич

Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия
barium56.2@gmail.com
Стр. 6

Брындин Лука Сергеевич

Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия
l.bryndin@g.nsu.ru
Стр. 18

Булуюев Илья Иванович

Национальный исследовательский Томский
политехнический университет (Томск), Рос-
сия
buluev.ilia@gmail.com
Стр. 31

Бучаев Абдулхамид Яхьяевич

Дагестанский государственный университет
народного хозяйства (Махачкала), Россия
mamedov_1@ro.ru
Стр. 31

Видия Анастасия

Институт динамики систем и теории управления
им. В.М. Матросова СО РАН (Иркутск), Россия
Стр. 34

Вирц Рудольф Александрович

Алтайский государственный университет
(Барнаул), Россия
virtsrudolf@gmail.com
Стр. 8

Володько Ольга Станиславовна

Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия
olga.pitalskaya@gmail.com
Стр. 6

Гаврилова Ксения Сергеевна

Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия
ksu483@yandex.ru
Стр. 8

Гарбузов Дмитрий Николаевич

*Томский государственный университет (Томск),
Россия*

dmitrij.garbuzov.98@mail.ru

Стр. 8

Гоголадзе Денис Зурабович

*Дальневосточный федеральный университет
(Владивосток), Россия*

denisgogoladze@gmail.com

Стр. 9

Гологуш Татьяна Сергеевна

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*

tatiana_06.08@mail.ru

Стр. 9

Голых Роман Николаевич

*Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова (Бийск), Россия*

romangl90@gmail.com

Стр. 10

Городилов Даниил Владимирович

*Кемеровский государственный университет
(Кемерово), Россия*

dealenx@gmail.com

Стр. 32

Горынин Арсений Глебович

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*

Стр. 18

Данилов Максим Николаевич

*Новосибирский государственный архитектурно-
строительный университет (Сибстрин)
(Новосибирск), Россия*

danilov@sibstrin.ru

Стр. 25

Данилова Нелли Николаевна

*Алтайский государственный университет
(Барнаул), Россия*

sibin-777@mail.ru

Стр. 11

Дектерев Артем Александрович

*Красноярский филиал Институт теплофизики
СО РАН (Красноярск), Россия*

Стр. 7

Денисов Иван Андреевич

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия*

d.ivan.krsk@gmail.com

Стр. 33

Долгая Анна Андреевна

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
(Петропавловск-Камчатский), Россия*

ann-dolgaya@yandex.ru

Стр. 33

Дородных Никита Олегович

*Институт динамики систем и теории управления
им. В.М. Матросова СО РАН (Иркутск), Россия*

tualatin32@mail.ru

Стр. 34

Евсеева Светлана Ивановна

*Омский государственный технический универси-
тет (Омск), Россия*

evseevasve@rambler.ru

Стр. 11

Ефимов Александр Владимирович

*Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики (Новоси-
бирск), Россия*

Стр. 39

Ефимов Евгений Александрович

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия*

eugene6467@mail.ru

Стр. 12

Желтова Кристина Анатольевна

*Сибирский государственный университет науки
и технологий им. академика М.Ф. Решетнева
(Красноярск), Россия*

masterkristall@gmail.com

Стр. 34

Зелинский Алексей Сергеевич

*Национальный исследовательский Томский
политехнический университет (Томск), Рос-
сия*

Стр. 22

Зимин Антон Игоревич

*Кемеровский государственный университет
(Кемерово), Россия*

Стр. 23

Иванов Петр Сергеевич

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*

p.ivanov4@g.nsu.ru

Стр. 26

Иванюхин Алексей Викторович

*Научно-исследовательский институт прикладной
математики и электродинамики Московского
авиационного института (Москва), Россия*

Стр. 27

Кавунникова Елизавета Александровна

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
Стр. 26

Кайгородцева Анастасия Андреевна

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
nastyakaig@gmail.com
Стр. 12

Карижов Артур Абдуразакович

*Дагестанский государственный университет
народного хозяйства (Махачкала), Россия*
art_karij@bk.ru
Стр. 40

Квашнин Александр Георгиевич

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
Стр. 28

Кензин Максим Юрьевич

*Институт динамики систем и теории управления
им. В.М. Матросова СО РАН (Иркутск), Россия*
gorthauers@gmail.com
Стр. 35

Ключанцев Владислав Сергеевич

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
vsklyuchantsev@gmail.com
Стр. 13

Кобзев Алексей Анатольевич

*Институт мониторинга климатических и экологиче-
ских систем СО РАН (Томск), Россия*
Стр. 22

Кондратьев Дмитрий Александрович

*Институт систем информатики им. А.П. Ершо-
ва СО РАН (Новосибирск), Россия*
apple-66@mail.ru
Стр. 35

Костин Сергей Владимирович

*Белгородский государственный национальный ис-
следовательский университет (Белгород), Россия*
1334425@bsu.edu.ru
Стр. 36

Костылева Ольга Дмитриевна

*Иркутский государственный университет
(Иркутск), Россия*
deltaonshape@mail.ru
Стр. 37

Кравченко Вадим Сергеевич

*Научно-исследовательский институт прикладной
математики и электродинамики Московского
авиационного института (Москва), Россия*
einboesesgenie@yandex.ru
Стр. 27

Кузнецова Ирина Владимировна

*Федеральный исследовательский центр информа-
ционных и вычислительных технологий (Новоси-
бирск), Россия*
irkuznetsova92@gmail.com
Стр. 37

Лебедев Роман Константинович

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
n0n3m4@gmail.com
Стр. 38

Макаров Олег Артурович

*Дальневосточный федеральный университет
(Владивосток), Россия*
dadidal96@gmail.com
Стр. 13

Мещеряков Георгий Андреевич

*Санкт-Петербургский политехнический универси-
тет Петра Великого (Санкт-Петербург), Россия*
metsheryakov_ga@spbstu.ru
Стр. 27

Митин Константин Александрович

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
СО РАН (Новосибирск), Россия*
mitin@ngs.ru
Стр. 14

Митина Алина Владимировна

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
СО РАН (Новосибирск), Россия*
Стр. 14

Мухортов Александр Васильевич

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
a.mukhortov@g.nsu.ru
Стр. 15

Никулин Владимир Сергеевич

*Новосибирский государственный университет
экономики и управления (Новосибирск), Россия*
nikulin-94@inbox.ru
Стр. 39

Павский Валерий Алексеевич

*Кемеровский государственный университет
(Кемерово), Россия*
Стр. 39

Павский Кирилл Валерьевич

*Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики (Новоси-
бирск), Россия*
elfs@ngs.ru
Стр. 39

Парамонов Вячеслав Владимирович

*Институт динамики систем и теории управления
им. В.М. Матросова СО РАН (Иркутск), Россия*
slv@icc.ru
Стр. 37

Паскарь Сергей Юрьевич

*Камчатский государственный университет им.
Витуса Беринга (Петропавловск-Камчатский),
Россия*
paskarysy@mail.ru
Стр. 16

Пахомова Кристина Игоревна

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия*
krahomova@yandex.ru
Стр. 42

Перехрест Василий Дмитриевич

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия*
perekhrest-vasily@mail.ru
Стр. 17

Пестунов Андрей Игоревич

*Новосибирский государственный университет
экономики и управления (Новосибирск), Россия*
Стр. 39

Писарев Артем Владимирович

*Федеральный исследовательский центр информа-
ционных и вычислительных технологий (Новоси-
бирск), Россия*
pisarev@tecon.ru
Стр. 28

Полянский Алексей Николаевич

*Воронежский государственный аграрный универ-
ситет (Воронеж), Россия*
Стр. 40

Прохоров Дмитрий Игоревич

*Институт Нефтегазовой Геологии и Геофизики
СО РАН (Новосибирск), Россия*
d.prokhorov@g.nsu.ru
Стр. 40

Рожкова Екатерина Игоревна

*Томский государственный университет (Томск),
Россия*
katushar2801@mail.ru
Стр. 17

Рылов Сергей Александрович

*Федеральный исследовательский центр информа-
ционных и вычислительных технологий (Новоси-
бирск), Россия*
RylovS@mail.ru
Стр. 41

Салтыков Илья Евгеньевич

*Федеральный исследовательский центр информа-
ционных и вычислительных технологий (Новоси-
бирск), Россия*
saltikov42@gmail.com
Стр. 18

Семисалов Борис Владимирович

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
VIBIS@NGS.RU
Стр. 18

Сенотрусова Софья Дмитриевна

*Федеральный исследовательский центр информа-
ционных и вычислительных технологий (Новоси-
бирск), Россия*
senotrusova.s@mail.ru
Стр. 19

Скибина Надежда Петровна

*Томский государственный университет (Томск),
Россия*
saiditagain@gmail.com
Стр. 19

Смирнов Сергей Васильевич

*Институт мониторинга климатических и эколо-
гических систем СО РАН (Томск), Россия*
Стр. 22, 44

Соловарова Любовь Степановна

*Институт динамики систем и теории управления
им. В.М. Матросова СО РАН (Иркутск), Россия*
soleilu@mail.ru
Стр. 20

Тагильцев Игорь Игоревич

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия
i.i.tagiltsev@gmail.com
Стр. 21*

Тильзо Ольга Александровна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия
kidanovaola@gmail.com
Стр. 29*

Толстихин Антон Артемович

*Институт динамики систем и теории управления
им. В.М. Матросова СО РАН (Иркутск), Россия
madstayler93@gmail.com
Стр. 41*

Тулупов Андрей Александрович

*Институт «Международный топографический
центр» СО РАН (Новосибирск), Россия
Стр. 23*

Тухтина Елизавета Алексеевна

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия
tinawetta@gmail.com
Стр. 42*

Удалов Артем Сергеевич

*Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова
udalets@inbox.ru
Стр. 21*

Файб Семён Владимирович

*Томский государственный университет (Томск),
Россия
semyon.fibe@gmail.com
Стр. 43*

Фарапонов Валерий Владимирович

*Томский государственный университет (Томск),
Россия
Стр. 19*

Фахретдинова Регина Ривалевна

*Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова
reginafakhretdinova@gmail.com
Стр. 15*

Хандожко Георгий Вадимович

*Дальневосточный государственный университет
путей сообщения (Хабаровск), Россия
191248jpatt@gmail.com
Стр. 30*

Хе Александр Канчерович

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия
Стр. 23*

Хмелёв Владимир Николаевич

*Бийский технологический институт (фили-
ал) Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова (Бийск), Россия
Стр. 10*

Холодилов Александр Андреевич

*Вычислительный центр ДВО РАН (Хабаровск),
Россия
roadwarrior93@mail.ru
Стр. 43*

Холодилова Маргарита Викторовна

*Вычислительный центр ДВО РАН (Хабаровск),
Россия
Стр. 43*

Цгоев Чермен Аланович

*Федеральный исследовательский центр информа-
ционных и вычислительных технологий (Новоси-
бирск), Россия
smotca1595@gmail.com
Стр. 22*

Чирихин Константин Сергеевич

*Федеральный исследовательский центр информа-
ционных и вычислительных технологий (Новоси-
бирск), Россия
chirihinkonstant@mail.ru
Стр. 44*

Шакиров Станислав Рудольфович

*Федеральный исследовательский центр информа-
ционных и вычислительных технологий (Новоси-
бирск), Россия
Стр. 28*

Шалунов Андрей Викторович

*Бийский технологический институт (фили-
ал) Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова (Бийск), Россия
Стр. 10*

Юрин Александр

*Институт динамики систем и теории управления
им. В.М. Матросова СО РАН (Иркутск), Россия
Стр. 34*

Якимайнен Дмитрий Сергеевич

*Белгородский государственный национальный
исследовательский университет (Белгород),
Россия
1248975@bsu.edu.ru
Стр. 36*

Яковлев Григорий Алексеевич

*Томский государственный университет (Томск),
Россия*
yakovlev-grisha@mail.ru
Стр. 22, 44

Яковлева Валентина Станиславовна

*Национальный исследовательский Томский
политехнический университет (Томск), Рос-
сия*
Стр. 22, 44

Янькова Галина Сергеевна

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
galinka0395@mail.ru
Стр. 23

Ярещенко Дарья Игоревна

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия*
YareshenkoDI@yandex.ru
Стр. 45

Яшин Михаил Евгеньевич

*Кемеровский государственный университет
(Кемерово), Россия*
nnhhard@mail.ru
Стр. 23

О снятии ответственности

Вся информация об участниках конференции представ-
лена в соответствии с данными системы «Конферен-
ция». Данные об участниках конференции в системе
«Конференция» вводятся пользователем, подающим
заявку на участие, самостоятельно. Ответственности
за достоверность этих данных организаторы конфе-
ренции и администраторы системы «Конференция»
не несут.

Ответственные за выпуск

Гусев О.И., Рылов С.А.

Компьютерная верстка в системе \LaTeX

Гусев О.И., Рылов С.А., Щербаков П.К.,
Мельников П.В., Синявский Ю.Н., Сенотрусова С.Д.