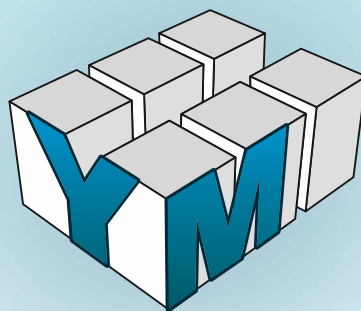


Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт вычислительных технологий
Сибирского отделения Российской академии наук



**XIX Всероссийская конференция
молодых учёных
по математическому моделированию
и информационным технологиям**

Кемерово

29 октября – 2 ноября 2018 г.

**Тезисы докладов
Алфавитный указатель
участников**

Институт вычислительных технологий СО РАН

**XIX Всероссийская конференция
молодых учёных
по математическому моделированию
и информационным технологиям**

Тезисы докладов

Алфавитный указатель участников

Кемерово

29 октября — 2 ноября 2018 г.

УДК 004, 519.6
ББК 22.19, 32.81
Т 29

Тезисы XIX Всероссийской конференции молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям. г. Кемерово, Россия, 29 октября – 2 ноября 2018 г. — Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2018. — 94 стр. — ISBN: 978-5-905569-08-1.

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; цифровая экономика; управление, обработка, защита и хранение информации; автоматизация и теория управления.

Мероприятие проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Проект № 18-31-10045-мол_г) и Совета научной молодежи ИВТ СО РАН.

Организаторы конференции:

- Институт вычислительных технологий СО РАН
- Кемеровский государственный университет
- 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.ict.nsc.ru/ym2018>

Ответственные за выпуск: Гусев О. И., Синявский Ю. Н.

Программный комитет:

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

Организационный комитет:

- академик Ю. И. Шокин (Новосибирск) — председатель
- к.ф.-м.н. Д. В. Есипов (Новосибирск) — заместитель председателя
- к.т.н. С. А. Рылов (Новосибирск) — секретарь
- д.т.н. А. М. Гудов (Кемерово)
- к.ф.-м.н. А. В. Вяткин (Красноярск)
- к.т.н. О. Л. Гиниятуллина (Кемерово)
- к.ф.-м.н. О. И. Гусев (Новосибирск)
- к.ф.-м.н. К. С. Иванов (Кемерово)
- к.ф.-м.н. А. А. Редюк (Новосибирск)
- к.ф.-м.н. О. С. Сидельников (Новосибирск)
- к.т.н. Е. С. Фереферов (Иркутск)
- к.т.н. И. Е. Харлампенков (Кемерово)
- к.ф.-м.н. И. С. Чеховской (Новосибирск)
- н.с. Ю. Н. Синявский (Новосибирск)

- м.н.с. В. А. Кихтенко (Новосибирск)
- асп. Ю. С. Борзилова (Новосибирск)
- асп. А. К. Гарагулова (Новосибирск)
- асп. А. Е. Крюков (Новосибирск)
- асп. П. В. Мельников (Новосибирск)
- асп. А. А. Палагина (Новосибирск)
- асп. 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. Цифровая экономика

Направление посвящено цифровым технологиям, которые используются в экономической деятельности и позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг по сравнению с традиционными формами хозяйствования. Рассматриваются следующие технологии: большие данные; системы распределённого реестра (блокчейн); нейротехнологии и искусственный интеллект; квантовые вычисления; промышленный интернет; технологии беспроводной связи; технологии виртуальной и дополненной реальностей.

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	7
1. Пленарные доклады	7
2. Вычислительные технологии	10
3. Информационные технологии	54
Алфавитный указатель участников	83

1. Пленарные доклады

1.1. *Бархнин В.Б.* Математическое моделирование: прямые методы vs «черный ящик»

До недавнего времени основным методом математического моделирования в различных областях науки, от механики сплошной среды до компьютерной лингвистики, было прямое моделирование, основанное на непосредственном анализе законов соответствующей предметной области, например, уравнений Навье — Стокса или координатного индекса текста. Преимущества такого подхода очевидны — исследователь оперирует законами природы или искусственной реальности, полученными с той или иной степенью достоверности.

Однако по мере усложнения решаемых наукой задач выявились и недостатки прямого моделирования — получения законов для сложных физических процессов или общественных явлений крайне затруднительно ввиду гигантского объема имеющейся информации и чрезвычайно сложного характера исследуемых закономерностей.

В указанных ситуациях на помощь приходят методы искусственного интеллекта, связанные с машинным обучением, типичным примером которых являются нейросети. Машинное обучение состоит в анализе множества примеров, характеризующих исследуемое явление. Результатом такого анализа является возможность оценить новый факт «по аналогии» — на основании его меры сходства с уже исследованными. При этом механизм такой оценки работает как «черный ящик» — без явного объяснения такой оценки (собственно, так же работает и человеческий мозг, моделью которого является нейросеть). В докладе обсуждаются сравнительные свойства двух указанных подходов — от установления границ применимости каждого из них до их влияния на философию и общественные науки.

1.2. *Бериков В.Б.* Кластерные ансамбли и их применение для анализа гиперспектральных изображений

В докладе рассматриваются задачи классификации разнородных, неполных и зашумленных данных, в которых принадлежность объектов классам либо неизвестна (обучение «без учителя»), либо метки классов полностью представлены в выборке (обучение «с учителем»), либо известны лишь для части наблюдений (частично контролируемое обучение). Для решения предлагается подход, основанный на предварительном анализе структуры данных с использованием кластерных ансамблей. В ансамбль могут входить различные алгоритмы кластерного анализа, что, как правило, позволяет достичь лучшего качества и повышает устойчивость результатов. Можно рассматривать данный этап как обучение метрике расстояния на основе коллек-

тива алгоритмов. Обсуждаются вопросы, связанные с теоретическим обоснованием разрабатываемого подхода и его применением для анализа гиперспектральных изображений. Особое внимание уделяется вычислительной эффективности алгоритмов.

1.3. *Есипов Д.В.* Математическое моделирование гидроразрыва: современное состояние и нерешенные проблемы

Моделирование гидроразрыва имеет богатую историю и берет свое начало с пионерской работы С.А. Христиановича и Ю.П. Желтова (Известия АН СССР, 1955 г.). Интенсивные исследования в этой области подстегиваются как широким применением этой технологии при нефте- и газодобыче, так и сложностью моделирования, связанной с рассмотрением как минимум четырех взаимосвязанных процессов: течения жидкости в трещине, ее утечки в породу, упругой деформации породы и распространения трещины. Дополнительным фактором, усложняющим моделирование, является близкое к сингулярному, а во многих моделях и сингулярное поведение функций решения вблизи кончика трещины.

В прошлом веке основные усилия специалистов были сосредоточены на формулировке одномерных математических моделей (KGD, PKN и радиальная модели), поиске их автомодельных решений и конструировании численных методов для их разрешения.

В начале 2000-х годов для разрешения сингулярности в кончике трещины Д. Гарагашем и Э. Детурне-ем была рассмотрена вспомогательная задача о распространении полубесконечной трещины со скоростью близкой к постоянной. Такой подход оказался плодотворным и позволил в дальнейшем для одномерных моделей гидроразрыва в приближении ньютоновской реологии и линейной механики трещин установить основные режимы распространения трещины и условия переходов между этими режимами. Развитие этого направления связано с дальнейшим совершенствованием «асимптотических» решений в различных приближениях и их внедрением в многомерные численные модели гидроразрыва.

В направлении создания численных методов начало 2000-х годов ознаменовалось созданием плоской трехмерной модели, которая учитывает слоистость породы. Эта модель нашла широкое применение в нефтяном деле. С тех пор исследователями был создан уже целый ряд численных трехмерных моделей, которые можно классифицировать по методу решения задачи упругости или пороупругости: модели на основе методов граничных элементов (BEM и DDM) и конечно-элементные модели (FEM), в том числе на основе XFEM/GFEM, а также так называемые «phase-field» модели.

В настоящем докладе будет представлен обзор основных математических моделей гидроразрыва,

численных методов их разрешения и основных полученных с их помощью результатов. Будут сформулированы задачи, на решении которых сейчас концентрируются основные усилия исследователей в этой области, а также проблемы, решение которых является вызовом с точки зрения моделирования.

1.4. Морозов Р.В. Модель системы анализа защищенности объекта от угрозы пожара

В докладе рассматривается модель информационно-управляющей системы поддержки принятия решений на основе оценки пожарного риска. Предложенная в работе модель обеспечивает поддержку интегральной информации обо всех факторах, влияющих на состояние пожарной безопасности объекта защиты, и учитывает его специфику. Это позволяет обеспечить формирование рекомендаций по снижению пожарного риска.

1.5. Потапов В.П. Методы data science для научных исследований: развитие и приложения

В работе рассматриваются вопросы, связанные с применением новой бурно развивающейся области — data science, применительно к научным исследованиям. Исследована общая структура и составляющие ее подсистемы. Показана тесная связь data science, методов data mining, прикладной статистики, машинного и усиленного обучения, которые являются компонентами такой системы. Приводятся примеры постановок и решения прикладных задач в рамках исследований, проводимых автором.

1.6. Ульянов М.В. Сложность асимметричной задачи коммивояжера: статистическое исследование и гипотезы.

В докладе приводятся результаты статистического исследования сложности асимметричной задачи коммивояжера (ATSP), полученные в результате обработки специально сгенерированного пула матриц (100 000 матриц для каждой размерности от 20 до 49). Построено семейство логнормальных вероятностных распределений, являющееся удовлетворительным приближением распределения сложности. Основная цель исследования — прогноз сложности индивидуальных задач для больших размерностей. В этом аспекте предложено представление распределения сложности, позволяющее решить задачу вероятностного прогнозирования. Формулируется гипотеза об унификации, и указываются направления развития исследований — основное из них — задача непосредственного прогнозирования сложности индивидуальной задачи по исходной матрице стоимостей с полиномиальной трудоемкостью.

1.7. Фереферов Е.С., Гаченко А.С., Фёдоров Р.К., Хмельнов А.Е. ГИС экологического мониторинга озерных систем

В течение последнего десятилетия в прибрежном

слое озера Байкал наблюдается гибель эндемиков, играющих важную роль в экосистеме озера. Для всестороннего изучения и анализа причин экологического кризиса необходимы инструментальные средства, позволяющие объединить усилия учёных разных профилей. Учитывая пространственный характер данных и междисциплинарность исследований, наиболее адекватным инструментом являются геоинформационные системы (ГИС).

Авторами разработана ГИС для поддержки исследований антропогенного воздействия на экологию озерных систем на примере озера Байкал [1]. Система реализована в виде геопортала, позволяющего исследователям формировать общую в рамках проекта базу результатов исследований в виде тематических и картографических данных, а также осуществлять запуск интернет-сервисов для решения задач геообработки и комплексного анализа данных. ГИС создана с открытой архитектурой, что позволяет расширять его функциональность путем добавления новых сервисов, находящихся как локально на сервере геопортала, так и удаленно на других серверах. За счёт поддержки стандартов в области геоинформатики обеспечивается интероперабельность программных систем, реализующих функции анализа и обработки геоданных. В состав развернутых на геопортале сервисов входят сервисы: интерполяции точечных данных на регулярную сетку, расчёта растровой плотности точечных объектов, идентификации объектов по растровому изображению, классификации объектов на основе метода опорных векторов, построение индекса растительности, растеризации линейных и площадных объектов, построения карт уклонов и направлений высот по регулярной сетке, построения карт временной доступности объектов. Отдельные сервисы для расчётов могут задействовать вычислительные мощности ЦКП ИСКЦ.

С применением оригинальной библиотеки триангуляции и технологии морфинга электронных карт авторами построена сопряжённая цифровая модель рельефа (ЦМР) суши и дна в районе п. Листвянка. ЦМР строилась на основе космоснимка высокого разрешения (10 метров на пиксел) WorldDem. Подводный рельеф получен при помощи эхолокационной съёмки рельефа дна урезовой зоны. Полученная совмещенная ЦМР позволяет решать задачи анализа распространения загрязнителей с учётом ландшафта.

Работа выполнена в рамках Интеграционной программы ИНЦ СО РАН «Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей», блок 4.1.2.

Список литературы

- [1] Гаченко А.С., Минаев В.В., Михайлов А.А. и др. Информационно-аналитическая система мо-

ниторинга и оценки антропогенного воздействия на экологию прибрежной зоны озера Байкал // География и природные ресурсы. 2016. № S6. С. 174–178.

1.8. Захаров Ю. Н. Актуальные проблемы валидации результатов численного моделирования

При разработке математических моделей особую роль играет их валидация, то есть подтверждение соответствия модели реальному физическому объекту или процессу. Проведение валидации сопряжено с рядом трудностей, такими как отсутствие повторяемых экспериментальных данных, дороговизна проведения экспериментов или отсутствие некоторых параметров, необходимых при моделировании. Эти обстоятельства иногда порождают «рафинированные» математические модели, которые бывают пригодными для практического использования лишь в малом диапазоне своих параметров.

В настоящем докладе будут рассмотрена проблема валидации результатов численных расчётов задач гидродинамики. Будут рассмотрены несколько практических задач вычислительной гидродинамики, в которых возникают парадоксальные и нефизичные решения. На этих примерах будут разобраны основные способы выявления таких решений и будет предложена оригинальная методика валидации численных моделей, которая позволяет расширить диапазон их применимости.

2. Вычислительные технологии

2.1. Аверьянов Е.А., Сидельников О.С., Редюк А.А. Методы машинного обучения для компенсации нелинейных искажений сигнала в волоконно-оптических линиях связи на основе модели возмущений уравнений Манакова

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) испытывают большую нагрузку из-за роста спроса на коммуникационные услуги. В то же время, нелинейные искажения передаваемого по ВОЛС сигнала (НИС) препятствуют дальнейшему увеличению скорости и дальности передачи информации. Существующие методы компенсации НИС, например, метод обратного распространения [1], не позволяют работать в режиме реального времени из-за существенных требований на вычислительные ресурсы. Поэтому актуальной является задача разработки новых методов компенсации НИС в ВОЛС с ограниченной вычислительной сложностью.

Анализ возмущений первого порядка уравнений Манакова, описывающих распространение оптического сигнала по ВОЛС, даёт явное выражение для накопленных НИС в виде суммы нелинейных комбинаций передаваемых символов с весами — коэффициентами возмущений [2]. Путём учёта данных искажений на приёмнике ВОЛС можно из полученного сигнала восстановить сигнал на передатчике, тем самым скомпенсировав НИС.

Для поиска коэффициентов возмущений предлагается использовать методы машинного обучения на известной тренировочной выборке отправленных и принятых символов сигнала [3]. В ходе данного исследования для нахождения коэффициентов были реализованы методы наименьших квадратов, наименьших абсолютных отклонений и гребневой регрессии.

Для генерации тренировочной и тестовой выборки символов было выполнено прямое моделирование передачи оптического сигнала по ВОЛС на основе системы уравнений Манакова. Данные уравнения решались численно с помощью метода Фурье расщепления по физическим процессам.

В результате с помощью предложенного метода удалось снизить число побитовых ошибок при распознавании сигнала на приёмнике в 2,53 раза по сравнению с линейным эквалайзером, выполняющим восстановление фазы сигнала, и в 1,19 раз по сравнению с вычислительно сложным методом обратного распространения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области (грант № 17-42-543379).

Научные руководители — член корр. РАН Федорук М.П., д.ф.-м.н. Турицын С.К.

Список литературы

- [1] IP E. Nonlinear compensation using backpropagation for polarization-multiplexed transmission // Journal of Lightwave Technology. 2010. Vol. 28. N. 6. P. 939–951.
- [2] DAR R., FEDER M., MECOZZI A. ET AL. Inter-channel nonlinear interference noise in WDM systems: modeling and mitigation // Journal of Lightwave Technology. 2015. Vol. 33. N. 5, P. 1044–1053.
- [3] SOROKINA M., SYGLETOS S., TURITSYN S. Sparse identification for nonlinear optical communication systems: SINO method // Optics Express. 2016. Vol. 24. N. 26. P. 30433–30443.

2.2. Азанов А.А. Об одном классе медленных конвективных движений

В работе рассматриваются специальные трехмерные движения уравнений Обербека — Буссинеска, поле скоростей и температур которых имеет вид:

$$\begin{aligned}u(x, y, z, t) &= (f(z, t) + h(z, t))x, \\v(x, y, z, t) &= (f(z, t) + h(z, t))y, \\w(x, y, z, t) &= -2 \int_0^z f(\xi, t) d\xi, \\T(x, y, z, t) &= a(z, t)x^2 + b(z, t)xy + \\&\quad + c(z, t)y^2 + \theta(z, t).\end{aligned}\tag{1}$$

После подстановки (1) в систему Обербека — Буссинеска и анализа на совместность получим нелинейную систему параболических уравнений относительно функций $f(z, t)$, $h(z, t)$, $a(z, t)$, $c(z, t)$, $\theta(z, t)$. При этом давление, так же как и температура, будет квадратичной функцией x и y . Будем интерпретировать формулы как конвективное движение жидкости между твердыми стенками $z = 0$, $z = l$, причем температура на них в точке $x = 0$, $y = 0$ имеет экстремальные значения, зависящие от времени. Возникающая начально-краевая задача является обратной, поскольку градиенты давлений вдоль осей x и y должны находиться вместе с указанными выше функциями. Считая число Рейнольдса малым (медленное движение), получим линейную систему (систему Стокса). Для нее найдено стационарное решение. Нестационарное решение находится в виде рядов Фурье по специальному базису. Указаны условия распределения температур на стенках, при которых с ростом времени решение выходит на полученный стационарный режим.

Проведенные расчеты для конкретных жидких сред хорошо подтверждают теоретические результаты [1].

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Андреев В.К.

Список литературы

- [1] ANDREEV V. K. ET AL. Mathematical Models of Convection / Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, 2012. 417 p.

2.3. Антонов А.Н. Численное исследование локальных характеристик газожидкостного течения в микроканале

Тенденция к миниатюризации при разработке микроканальных теплообменников, микроканальных реакторов и биологических чипов определяет большой интерес к экспериментальным и расчетным исследованиям газожидкостных течений в микроканалах. Тем не менее, одной из актуальных и нерешенных задач остается определение локальных характеристик таких течений в каналах прямоугольного сечения, которые широко распространены в микрожидкостных системах.

Целью данной работы является численное исследование локальных характеристик течения при всплытии газового пузыря в вертикальном канале прямоугольного сечения. Расчеты проводились методом жидкости в ячейке (VOF) с помощью программного пакета OpenFOAM. В процессе расчета определялась фазовая доля жидкости α в ячейках расчетной сетки при решении уравнения переноса, после чего решалась система уравнений движения для жидкости с плотностью и вязкостью, которые получены линейной интерполяцией. Расчеты проводились для элемента симметрии, составляющего от поперечного сечения каналов 420×280 мкм и 400×210 мкм. Перепад давления на длине канала изменялся от 1 до 5 кПа. Установлено, что капиллярные силы определяют распределение толщины пленки жидкости в поперечном сечении канала, они приводят к стягиванию жидкости в углы канала и формированию тонкой пленки жидкости на стенках. Результаты показывают, что толщина и форма пленки жидкости значительно отличаются для длинной и короткой стороны канала. При этом толщина пленки на длинной стороне канала изменяется в зависимости от расстояния до головной части пузыря, поэтому известный закон Тейлора для определения локальной толщины пленки жидкости не может быть применен для прямоугольных микроканалов.

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Кузнецов В.В.

2.4. Белькова Т.А., Перминов В.А. Численное решение задачи о воздействии природных пожаров на приземный слой атмосферы

При лесных пожарах в приземный слой атмосферы ежегодно поступает большое количество продуктов пиролиза и горения, которые так или иначе влияют на атмосферные процессы и оказывают воздействие на состояние окружающей среды. Большую долю среди них занимают соединения углерода, которые относятся к так называемым парниковым газам, влияющим на процессы глобального потепления. С целью определения количества выбросов углеродов в атмосферу при лесных пожарах

использована математическая модель верхового пожара [1], основанная на законах сохранения массы, импульса и энергии. Для описания процессов распространения лесного пожара и переноса в приземном слое атмосферы используется сопряженная постановка задачи. Дискретный аналог получен с помощью метода конечного объема [2]. В результате численных расчетов получены пространственные распределения полей скорости, температуры и концентраций компонентов газовой фазы в различные моменты времени как в пологом леса, так и в приземном слое атмосферы. На основе полученных данных удалось получить подробную картину распространения фронта лесного пожара и определить общее количество выбросов CO и CO₂ в приземный слой атмосферы во время процесса горения. В результате исследования получены следующие данные: в начале возгорания преобладают выбросы CO₂, а с увеличением скорости ветра до 5 м/с — CO. CO₂ образуется при сгорании продуктов газообразного и конденсированного пиролиза, а CO выделяется вместе с продуктами пиролиза. Очевидно, что при увеличении скорости ветра некоторые продукты пиролиза не успевают реагировать и выполняются из области повышенной температуры. Математическая модель дает возможность описать различные условия распространения верховых лесных пожаров с учетом различных метеорологических условий, состояния лесных горючих материалов. Это позволяет применять данную модель как для прогнозирования распространения природных пожаров, так и для оценки выброса продуктов пиролиза и горения в приземный слой атмосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ — Томская область (грант № 16-41-700022) и гранта программы повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета.

Список литературы

- [1] Гришин А. М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними / Новосибирск: Наука, 1992. 408 с.
- [2] Патанкар С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / Москва: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.

2.5. Беляев В.А. Решение краевых задач для бигармонического уравнения в нерегулярных областях с дискретно заданной границей методом коллокации и наименьших квадратов

Предложен и реализован новый вариант метода коллокации и наименьших квадратов (КНК) повышенной точности для численного решения бигармонического уравнения. Дифференциальная задача методом КНК проектируется в пространство полиномов четвертой и восьмой степеней. Реализованный алгоритм применяется в нерегулярных обла-

стях, границы которых заданы дискретно. Для приближенного и однозначного задания границы области по ее дискретным данным в прямоугольной системе координат строится параметрический двойной сплайн, в качестве компонент которого взяты два кубических сплайна.

Исходная нерегулярная область включается в прямоугольник, который покрывается регулярной сеткой с прямоугольными ячейками. На границе области используется «одинарный» слой нерегулярных ячеек (н-ячеек), отсеченных границей от прямоугольных граничных ячеек начальной регулярной сетки. Все н-ячейки разбиваются на два класса: самостоятельные, в которых находится центр содержащих их граничных ячеек, и несамостоятельные, центр содержащих их граничных ячеек которых расположен вне области. Вытянутые несамостоятельные граничные н-ячейки присоединяются к соседним самостоятельным ячейкам, и в объединенных ячейках строится свой отдельный кусок аналитического решения. При этом в граничных ячейках, которые пересекла граница, для аппроксимации дифференциальных уравнений использованы «законтурные» точки коллокации и точки согласования решения задачи. Эти два приема позволили существенно уменьшить обусловленность системы линейных алгебраических уравнений приближенной задачи по сравнению со случаем, когда несамостоятельные н-ячейки использовались как самостоятельные для построения приближенного решения задачи и не была использована «законтурная» часть граничных ячеек.

В численных экспериментах по сходимости приближенного решения различных задач на последовательности сеток установлено, что оно сходится с повышенным порядком и с высокой точностью совпадает с аналитическим решением задачи в случае, когда оно известно. Приведено сравнение полученных результатов с известными результатами других авторов, которые использовали конечно-разностный метод повышенного порядка аппроксимации. В качестве приложения решение бигармонического уравнения использовано для моделирования напряженно-деформированного состояния изотропных тонких пластин нерегулярных форм.

2.6. Бондарева Л.В. Явление залпового выброса при очистке жидких промышленных стоков в отработанных горных выработках закрытых и затопленных угольных шахт

В Кузбассе для очистки жидких промышленных стоков обогатительной фабрики «Комсомолец» используют отработанные затопленные горные выработки шахты «Кольчугинской». Очистка шламовых стоков происходит за счет отстаивания и благодаря разбавлению грунтовыми водами, которые через кровлю поступают в выработанное пространство.

Осажденные илы остаются в подземном пространстве и дополнительные затраты на их складирование и обработку не требуются. В целом применение такого способа очистки обладает целым рядом преимуществ, однако для безопасной его реализации важно не допустить «залпового выброса» накопленных примесей, при котором концентрация загрязнений в откачиваемой воде может резко и значительно расти.

В данной работе предлагается оригинальная математическая модель, позволяющая изучать процессы очистки жидких промышленных стоков в отработанных горных выработках закрытых и затопленных угольных шахт от взвешенных примесей. Приводятся результаты численного моделирования, в которых обнаружено возникновение «залпового выброса» и оценивается время безопасной работы выработки как очистного сооружения. Проведенные численные эксперименты позволяют сделать вывод о том, что спровоцировать явление «залпового выброса», а также повлиять на интенсивность залпа могут такие факторы как: сужение выработок из-за слеживания осадка; фракционный состав очищаемых стоков с преобладанием летучих частиц; колебание объема поступающих в выработанное пространство грунтовых вод; изменение объема закачиваемых промышленных стоков, а также особенности формы горной выработки.

2.7. Бурмистров А.В., Коротченко М.А. Моделирование автотранспортного потока в кинетической модели со случайными параметрами

Кинетическая модель автотранспортного потока (см., например, [1]) достаточно точно описывает динамику автомобильного потока, в частности, не только случай частично затрудненного движения, но также и более плотные потоки [2]. Именно поэтому решение уравнений больцмановского типа, возникающих в этой модели является актуальной проблемой.

В данной работе авторами разработаны новые алгоритмы статистического моделирования для численной оценки вероятностных моментов линейных функционалов от решения уравнения больцмановского типа со случайными параметрами.

Для возможности учета разных типов взаимодействующих автомобилей, а также случайных параметров, которые описывают навыки и поведение водителя конкретного автомобиля, кинетическая модель усовершенствована в рамках подхода, разработанного ранее в [3,4]. При моделировании динамики системы автомобилей предложено использовать метод двойной рандомизации.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект № 0315-2016-0002), а также при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты № 16-01-00530 и № 18-01-00356).

Список литературы

- [1] BURMISTROV A. V., KOROTCHENKO M. A. Application of Statistical Methods for the Study of Kinetic Model of Traffic Flow with Separated Accelerations // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 2011. Vol. 26. N. 3. P. 275–293.
- [2] WALDEER K. T. The Direct Simulation Monte Carlo Method Applied to a Boltzmann-like Vehicular Traffic Flow Model // Comput. Phys. Commun. 2003. V. 156. N. 1. P. 1–12. BURMISTROV A., KOROTCHENKO M. Statistical modeling method for kinetic traffic flow model with acceleration variable // Proc. Intern. Workshop «Applied Methods of Statistical Analysis. Simulations and Statistical Inference». Novosibirsk: Publishing House of NSTU, 2011. P. 411–419.
- [3] BURMISTROV A., KOROTCHENKO M. Weight Monte Carlo Method Applied to Acceleration Oriented Traffic Flow Model // Springer Proc. Math. Stat. 2012. Vol. 23. P. 297–311.
- [4] BURMISTROV A., KOROTCHENKO M. Monte Carlo Algorithm for Simulation of the Vehicular Traffic Flow Within the Kinetic Model with Velocity Dependent Thresholds // Springer Proc. Math. Stat. 2014. Vol. 114. P. 109–117.

2.8. Ванина В.С., Хе А.К., Чеботников А.В., Тулупов А.А., Бойко А.В., Паршин Д.В., Черевко А.А., Чупахин А.П. Исследование закрученности потока в моделях кровеносных сосудов с помощью МРТ: обработка данных и численный эксперимент

Работа посвящена исследованию закрученности потока в кровеносных сосудах на основе данных МРТ. В данной работе проводится анализ экспериментальных данных с целью подтверждения возможности выявления закрученности течения крови в сосудах человека с помощью магнитно-резонансной томографии. В организме человека движение крови описывается ламинарным и турбулентным течением, но благодаря исследованиям [1] было выявлено существование закрученного (вращательно-поступательного) течения крови на отдельных участках сердечно-сосудистой системы человека. Так как кровообращение является процессом необходимым для нормальной жизнедеятельности всех систем организма, то его изучение в дальнейшем может поспособствовать диагностированию и устранению патологий. Данные съёмки на томографе были получены в виде изображений в формате DICOM. Для обработки изображений была создана программа в среде MATLAB, позволяющая визуализировать характер течения, построить линии тока и график расхода жидкости. Была построена 3D модель сосуда. Проведен численный расчет в программе ANSYS CFX для того, чтобы произвести сравнение с обработанными данными. В результате анализа результатов экспериментов была показана возможность обнаружения завихренности потока крови в кровеносных сосудах, а также количественной оценки закрутки. Численный расчет

в ANSYS CFX показал, что протяженность закрутки зависит от скорости потока. Сравнение результатов расчета и данных эксперимента показало качественное совпадение характера течения.

Работа выполнена при финансовой поддержке правительства РФ (грант № 14.W03.31.0002) и РФФИ (грант № 17-08-01736).

Список литературы

- [1] КИРСАНОВ Р.И., КУЛИКОВ В.П. Винтовое (вращательно-поступательное) движение крови в сердечно-сосудистой системе // Успехи физиологических наук. 2013. Т. 44. № 2. С. 62–78.

2.9. Вожаева Д.А. Исследование пульсовой волны с помощью непрерывного вейвлет-преобразования

В настоящее время имеется большой интерес к исследованию, разработке методик и внедрению в практику приборов для изучения движения пульсовой волны (полученной в ходе медицинского эксперимента кривой, описывающей кровяное давление) в связи с тем, что смертность от сердечно-сосудистых заболеваний находится на первом месте. В работе анализируется поведение пульсовой волны, а именно, находятся её информативные точки: точки экстремума и точки перегиба. В качестве инструмента используется непрерывное вейвлет-преобразование. Исследование проводится с помощью вейвлетов Хаара, ФНАТ (Французская шляпа), Гаусса первого и второго порядка.

Разработан алгоритм и создан расчетный код для нахождения информативных точек с применением возможностей пакета Wavelet Toolbox Matlab. Алгоритм протестирован на искусственно созданных функциях, имеющих точки экстремума и перегиба. Исследование показало, что точки экстремума хорошо локализуются с помощью антисимметричных вейвлетов, а точки перегиба — с помощью симметричных вейвлетов [1].

Результаты исследования приводят к выводам, что алгоритм применим как для сигналов, задаваемых аналитически, так и для данных, полученных в ходе клинических испытаний. Тестирование алгоритма на модельных примерах показало, что дискретные вейвлеты (вейвлет Хаара и вейвлет ФНАТ) дают меньшую погрешность при поиске информативных точек в сравнении с непрерывными вейвлетами Гаусса.

Предложенный алгоритм имеет некоторые преимущества в сравнении с другими численными методами. В частности, он оказывается применим для нахождения информативных точек сигналов, содержащих шумовую компоненту.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Мищенко Е.В.

Список литературы

- [1] СМОЛЕНЦЕВ Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Москва: ДМК Пресс, 2014. 628 с.

2.10. Вьюнник Н.М. Сравнение двух аппаратов для мембранного концентрирования на основе вычислительных экспериментов

При использовании мембранных технологий большое количество времени уделяется способам борьбы с образованием плотного диффузионного слоя вблизи стенок мембраны. Одним из таких способов является применение специального устройства (концентратора) отводящего этот слой в качестве конечного продукта. Разработка и проектирование устройств, для мембранного концентрирования, требует проведения большого количества экспериментальных исследований. Это требует значительных затрат, поэтому в этой области активно применяется математическое моделирование.

В данной работе предлагается сравнить два аппарата мембранного концентрирования [1] и [2]. Численные эксперименты проводились с одинаковым набором параметров, единственным различием является геометрия устройств.

Для моделирования работы устройств используется математическая модель, описанная в [3]. В ней раствор представляется вязкой несжимаемой жидкостью с переменной плотностью и вязкостью. В модели также принимается допущение осевой симметрии расчетной области. Для решения уравнений модели используется метод сеток.

Сравнение аппаратов проводилось по средствам оценки качества жидкости, отведенной с помощью устройств. При проведении вычислительных экспериментов изменялись следующие параметры: перепад давления, размеры и количество отводных отверстий. Также варьировалась концентрация начального раствора поступающего на вход мембраны.

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

Список литературы

- [1] Лобасенко Б. А., Шушпанников А. С., Семёнов А. Г. и др. Аппарат для мембранного концентрирования (свидетельство № 2506991) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2014.
- [2] Лобасенко Б. А., Сафонов А. А., Лобасенко Р. Б. и др. Аппарат для мембранного концентрирования (свидетельство № 2181619) / Российская Федерация, 2002.
- [3] Вьюнник Н. М., Захаров Ю. Н., Кириченко А. А. и др. Разработка модели движения жидкости с переменными плотностью и вязкостью в устройстве для отвода диффузионного слоя // Вестник Кемеровского государственного университета. 2015. № 3 (4). С. 128–135.

2.11. Вяткин А.В., Кучунова Е.В., Якубович М.В. Комбинация полу-лагранжевого подхода и метода конечных элементов для моделирование течения многокомпонентной газовой смеси

Рассмотрена модель течения многокомпонентной газовой смеси, построенная на основе полных уравнений Навье – Стокса для смеси нереагирующих газов в диффузионном приближении при отсутствии массовых сил [1, 2]. Модель основана на уравнениях

$$\frac{d\rho_i}{dt} + \rho_i \nabla \mathbf{V} = -\nabla \mathbf{J}_i, \quad \rho \frac{d\mathbf{V}}{dt} = \nabla \Pi_{i,j},$$
$$\rho \frac{de}{dt} = -P \nabla \mathbf{V} - \nabla \mathbf{q} + \Phi$$

вместе с алгебраическими соотношениями

$$P = \rho R T \sum_{i=1}^N \frac{c_i}{m_i}, \quad \mathbf{J}_i = \rho c_i \mathbf{w}_i, \quad c_i = \frac{\rho_i}{\rho}, \quad \rho = \sum_{i=1}^N \rho_i.$$

Здесь ρ – плотность смеси, ρ_i – приведенная плотность i -ой компоненты, $\mathbf{V}$ – среднемассовая скорость, c_i – массовая концентрация i -ой компоненты, $\mathbf{w}_i$ – скорость диффузии i -ой компоненты, $\mathbf{J}$ – диффузионный поток i -ой компоненты, P – давление, $\Pi_{i,j}$ – тензор напряжений, e – внутренняя энергия, $\mathbf{q}$ – тепловой поток, Φ – диссипативная функция, T – температура, R – универсальная газовая постоянная, m_i – молярная масса i -ой компоненты. Для аппроксимации конвективных слагаемых используется полу-лагранжевый метод. Дискретизации по пространству остальных слагаемых уравнений Навье – Стокса на очередном временном слое осуществляется методом конечных элементов с кусочно-билинейными (или трилинейными для трехмерной по пространству задачи) базисными функциями и применением квадратурных формул. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках научного проекта № 18-41-243006.

Список литературы

- [1] Алоян А. Е. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере: Курс лекций / М.: ИВМ РАН, 2002. 201 с.
- [2] Шайдуров В. В., Щепановская Г. И., Якубович М. В. Численное моделирование течений вязкого теплопроводного газа в канале // Вычислительные технологии. 2013. Т. 18. № 4. С. 77–90.

2.12. Вяткин А.С. Математическое моделирование транспорта ионов в проводящих нанопористых мембранах

Мембрана представляет собой барьер, разделяющий две фазы и обеспечивающий селективный перенос компонентов этих фаз под действием движущей силы (градиента концентрации, электрического потенциала или давления). Если поверхность пор

мембраны является заряженной, а размер пор соотносится с длиной Дебая (несколько нанометров), то такая мембрана способна осуществлять селективный перенос ионов.

В работах [1–3] предложена методика синтеза нанопористых мембран из нановолокон оксида алюминия — NafenTM. Электрическая проводимость поверхности пор достигается путем нанесения углеродного слоя (2–3 нм) посредством химического осаждения из газовой фазы (CVD).

Способность мембраны осуществлять селективный перенос исследуется посредством измерения мембранного потенциала, представляющего собой разность потенциалов между двумя резервуарами с различными концентрациями раствора соли CL и CR, разделенными мембраной. Разность потенциалов возникает за счет скачков потенциала на границах мембрана/раствор, вызванных повышением концентрации противоионов внутри поры. Измерения мембранного потенциала проводятся в ячейке, состоящей из двух полужеек, между которыми зажата мембрана. В каждой из них размещен Ag/AgCl электрод, подключённый к потенциостату ПИИ-50Pro (Элинс, Россия). Через полужеечки прокачиваются растворы с помощью насоса по замкнутому циклу для обеспечения постоянной концентрации соли. Цель данной работы состоит в построении математической модели, описывающей транспорт ионов через мембрану, и соотношении результатов вычислений с экспериментальными данными. Математическое моделирование мембранного потенциала осуществлялось на основе уравнений Навье — Стокса, Нернста — Планка и Пуассона в двумерной постановке. Рассматривалась цилиндрическая пора радиуса R и длины L с поверхностной плотностью заряда σ ($R=8$ нм, $L=400$ мкм). Путём подгонки теоретических кривых под экспериментальные данные была определена плотность поверхностного заряда. Полученные результаты могут быть использованы для создания ионоселективных мембран и моделирования процессов переноса ионов в них.

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Рыжков И. И.

Список литературы

- [1] SOLODOVNICHENKO V., LEBEDEV D., BYKANOVA V., ET AL. Carbon Coated Alumina Nanofiber Membranes for Selective Ion Transport // Advanced Engineering Materials. 2017. Vol. 19. N. 11. P. 1–9.
- [2] ЛЕБЕДЕВ Д. В., ШИВЕРСКИЙ А. В., СИМУНИН М. М. и др. Синтез мембран на основе нановолокон оксида алюминия и исследование их ионной селективности // Мембраны и мембранные технологии. 2017. Т. 7. № 2. С. 86–98.
- [3] RYZHKOV I., LEBEDEV D., SOLODOVNICHENKO V., ET AL. Induced-Charge Enhancement of the Diffusion Potential in Membranes with Polarizable Nanopores // Physical Review Letter. 2017. Vol. 119. N. 22. P. 1–5.

2.13. Гарагулова А.К. Ускорение алгоритмов многоцелевой оптимизации путем использования суррогатных моделей

При решении задач многоцелевой оптимизации наиболее популярны генетические алгоритмы. Недостатком таких алгоритмов является необходимость вычисления целевых функций для большого числа точек, что ограничивает их применимость, если расчет целевых функций занимает много вычислительных ресурсов. Так, в задаче оптимизации рабочего колеса гидравлической турбины вычисление максимизируемой функции — КПД — требует 3D расчета течения в проточном тракте, что занимает около часа процессорного времени.

Эффективным подходом к сокращению количества ресурсоемких вычислений целевой функции является аппроксимация значений этой функции с помощью метамоделей (суррогатных моделей), которая строится по некоторому неполному набору данных — обучающей выборке. Для каждого элемента обучающей выборки проводится вычисление целевых функционалов с использованием ресурсоемких моделей.

В работе представлены типичные методы для построения функции, приближенно описывающей поведение неизвестной зависимости: метод опорных векторов (SVR), кригинг или регрессия на основе гауссовских процессов, радиальные базисные функции (RBF).

Рассмотрено два подхода к интеграции метамоделей в оптимизационный алгоритм: DFR и IFR [1]. В первом случае модель, обучаемая на большом количестве точек, предполагается достаточно точной. Данное условие позволяет найти решения задачи без обращения к ресурсоемким вычислениям. Во втором подходе начальная обучающая выборка состоит из эмпирически подобранного небольшого числа точек, которые отбираются методами построения планов эксперимента [2] для более равномерного покрытия исследуемой области. С помощью построенной метамоделю оптимизационный алгоритм находит множество решений, из которого отбираются n лучших решений по критерию ожидаемого улучшения, для которых вычисляются настоящие значения. Данные точки добавляются в обучающую выборку для построения новой метамоделю. Алгоритм работает до выполнения заданного критерия остановки.

В настоящей работе эти два подхода внедрены в комплекс оптимизации CADDRUN-opt [3]. Тестирование проводилось на ряде тестовых задач с различным количеством свободных переменных, а также на задаче оптимизации рабочего колеса гидротурбины по 4, 8, 12, 16, 24 параметрам.

Результаты работы показали целесообразность использования метамоделей для решения вычислительно затратных оптимизационных задач. Так, ис-

пользование методов DFR в задаче оптимизации РК гидротурбины с малым числом параметров (4, 8, 12, 16) позволило уменьшить количество ресурсоемких вычислений в два раза, а также улучшить получаемое множество решений. В задачах с большим количеством свободных параметров (24) появилась возможность улучшения фронта Парето за сопоставимое количество «тяжелых» вычислений. На тестовой задаче TNK количество вызовов целевой функции уменьшилось в 50 раз, OSY – в 100 раз, при этом в качестве обучающей выборки использовалось случайно сгенерированное первое поколение, состоящее из 100 точек.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Чирков Д. В.

Список литературы

- [1] DIAZ-MANRIQUEZ A., TOSCANO G., BARRON-ZAMBRANO J., TELLO-LEAL E. A Review of Surrogate Assisted Multiobjective Evolutionary Algorithms // Computational Intelligence and Neuroscience. 2016. Vol. 2016. Article ID 9420460. 14 p.
- [2] SACKS J., WELCH W., MITCHELL T., WYNN H. Design and analysis of computer experiments // Statistical science. 1989. Vol. 4. N. 4. P. 409–423.
- [3] ЧЕРНЫЙ С. Г., ЧИРКОВ Д. В., ЛАПИН В. Н. и др. Численное моделирование течений в турбомашинах / Новосибирск: Издательство Наука, 2006. 202 с.

2.14. Герасимова Ю.А., Шумилов Б.М. Разработка алгоритмов эпполярной геометрии на основе кубических сплайновых вейвлетов, ортогональных многочленам первой степени

В работе представлен оригинальный метод построения кубических сплайновых вейвлетов, ортогональных многочленам первой степени [1], основанный на идее расщепления [2]. Рассмотрены алгоритмы эпполярной геометрии [3] и исследована возможность модификации этих алгоритмов, основанной на кубических сплайновых вейвлетах представленного типа.

В настоящее время в компьютерном зрении актуальной является задача совмещения изображений, т. е. установления соответствия между точками двух проекций одного и того же трехмерного объекта, зафиксированного в разных ракурсах. Одним из наиболее эффективных методов решения этой задачи является применение алгоритмов эпполярной геометрии.

Эпполярная геометрия — это геометрия стереозрения (*stereo vision*). Она определяется через фундаментальную матрицу F ,

$$\mathbf{x}_1^T \mathbf{F} \mathbf{x}_2 = 0,$$

как проективное преобразование, содержащее такие свойства, как сдвиг и поворот одного ракурса относительно другого. Здесь x_1, x_2 — координаты, соответствующие одной и той же точке на разных частях стереоизображения.

Весьма остро стоит проблема уточнения фундаментальных матриц. Известны следующие алгоритмы для их оценки: Gold Standard, 8-точечный алгоритм, нормализованный 8-точечный алгоритм, RANSAC (*RANdom Sample Consensus*) и др. Каждый из этих методов имеет ряд недостатков, не позволяющих выделить ни один алгоритм как оптимальный. Поэтому актуальной является задача разработки новых алгоритмов для оценки элементов фундаментальной матрицы F .

В настоящей работе представлен метод вычисления фундаментальной матрицы, основанный на вейвлет-преобразовании. Оно обладает ключевыми для компьютерного зрения свойствами — сдвиговой инвариантностью, позволяющей находить локальные объекты на изображениях, и масштабируемостью, позволяющей точно измерить параметры изображения в нескольких направлениях. Алгоритм строится на предварительном поиске интересных точек на изображениях, а затем с помощью вейвлетов происходит поиск соответствий между этими точками. Количество точек, необходимых для оценки F , будет зависеть от масштаба, но их должно быть не менее семи.

Для построения алгоритма были использованы вейвлеты на базе сплайнов, т. к. они обладают рядом преимуществ перед другими видами базисных функций. В работе [2] подробно описан процесс построения кубических сплайновых вейвлетов на базе многочленов третьей степени, отличных от [4].

Разработанные алгоритмы потенциально являются наиболее эффективными по количеству операций в классе рассматриваемых методов оценки фундаментальной матрицы F .

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области (грант № 16-41-700400-р_а).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шумилов Б.М.

Список литературы

- [1] ČERNÁ D., FINĚK V. Cubic spline wavelets with short support for fourth-order problems // Applied Mathematics and Computation. 2014. Vol. 243. P. 44–56.
- [2] SHUMILOV B. M. Cubic multiwavelets orthogonal to polynomials and a splitting algorithm // Numer. Anal. Appl. 2013. Vol. 6. N. 3. P. 247–259.
- [3] HARTLEY R., ZISSERMAN A. Multiple View Geometry in Computer Vision / Cambridge: University Press, 2003. 670 p.
- [4] WANG J. Cubic spline wavelet bases of Sobolev spaces and multilevel interpolation // Applied and Computational Harmonic Analysis. 1996. Vol. 3. N. 2. P. 154–163.

2.15. Глушко Т.А. Разработка экономичного алгоритма для расчета динамики среды газ-микрочастицы на основе двухжидкостной гидродинамики сглаженных частиц

Расчёт динамики сред из газа и микрочастиц востребован в ряде приложений. Например, при моделировании газофазных химических реакций, катализируемых нано-частицами, а также при моделировании начальных этапов образования планет. Вычислительной особенностью такой задачи является то, что время выравнивания скоростей между газом и микрочастицами намного меньше времени протекания основных процессов. Это означает, что по сравнению с расчётом динамики газа, для которой временной шаг определяется условием Куранта, расчёт газопылевой среды явными методами потребует шага по времени меньшего, чем время выравнивания скорости газа к скорости пыли. Кроме того, в моделируемых системах масса газа на несколько порядков больше массы пыли. Поэтому обычно рассматривается влияние массивного газа на импульс пыли, но пренебрегается влиянием маломассивной пыли на импульс газа. Однако если концентрация пыли в отдельных областях становится достаточно большой, пыль начинает оказывать на газ значительное влияние, которое необходимо учитывать. Для решения этих проблем реализован новый экономичный алгоритм на основе двухжидкостной гидродинамики сглаженных частиц, использующий полунейную аппроксимацию для расчёта силы трения.

В качестве тестов рассматриваются начально-краевая задача для системы уравнений, описывающей распространение акустических колебаний в двухфазной среде, и задача о распаде разрыва. Рассматривается среда, в которой газ и пыль взаимодействуют в режиме Эпштейна. Проведено сравнение предложенного алгоритма с классическим подходом расчета двухфазных сред, предложенным Монаганом и Кочарьяном [1]. Показано, что разработанный алгоритм более экономичен и обладает меньшими диссипативными свойствами в сравнении с классическим подходом. Докладываемые результаты опубликованы в работе [2].

Работа выполнена по плану базового бюджетного финансирования Института Катализа СО РАН. Научный руководитель — к.ф.-м.н. Стояновская О. П.

Список литературы

- [1] MONAGHAN J. J., KOCHARYAN A. O. SPH simulation of multi-phase flow // Computer Physics Communications. 1995. Vol. 87. P. 225–235.
- [2] STOYANOVSKAYA O. P., GLUSHKO T. A., SNYTNIKOV N. V., SNYTNIKOV V. N. Two-fluid dusty gas in smoothed particle hydrodynamics: Fast and implicit algorithm for stiff linear drag // Astronomy and Computing. 2018. DOI: 10.1016.

2.16. Гологуш Т.С., Черевко А.А., Петренко И.А., Остапенко В.В. Численное моделирование оптимального сценария эмболизации АВМ на основе задачи двухфазной фильтрации

Артериовенозная мальформация (далее АВМ) является сложным и опасным пороком развития сосудов головного мозга. Наличие артериовенозного шунта с высокой скоростью кровотока и, как следствие, наличие сброса крови из артериального в венозное русло, минуя капилляры, определяет патологию. Эмболизация АВМ является эффективным средством лечения данных патологий. Тем не менее, все ещё существует опасность разрыва АВМ во время операции. Цель данной работы состоит в том, чтобы смоделировать процесс эмболизации и построить для неё оптимизационный алгоритм. Поскольку типичная АВМ состоит из большого количества взаимно пересекающихся сосудов малого диаметра, то она с достаточной точностью может рассматриваться как пористая среда. Процесс эмболизации описывается в этой модели внедрением в пористую среду, заполненную жидкостью (кровью), другой жидкости (эмболизата), не смешивающейся с первой. Такой процесс в одномерном приближении описывается уравнением Баклея — Леверетта.

Для изучения различных сценариев эмболизации начально-краевые задачи, описывающие процесс эмболизации, решались численно с помощью новой модификации схемы КАБАРЕ. Основные моменты эмболизации смоделированы в численных экспериментах [1, 2]. Этот подход хорошо воспроизводит существенные особенности разрывных двухфазных течений, возникающих в задачах эмболизации.

Поставлена задача оптимальной эмболизации АВМ, которая формулируется следующим образом: необходимо, управляя подачей эмболизата на вход АВМ, получить минимальную концентрацию крови в АВМ в конце эмболизации, при выполнении ограничений на эмболизацию. Найдено численное решение данной задачи в случае специального линейного режима подачи эмболизата. Выявлены допустимые и оптимальные режимы эмболизации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 16-01-00333 и № 17-08-01736) и Правительства Российской Федерации (грант № 14.W03.31.0002).

Список литературы

- [1] CHEREVKO A., GOLOGUSH T., PETRENKO I. ET AL. Modeling process of embolization arteriovenous malformation on the basis of two-phase filtration model // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Vol. 722. N. 012009.
- [2] CHEREVKO A., GOLOGUSH T., PETRENKO I. ET AL. Numerical modeling process of embolization arteriovenous malformation // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1893. N. 030123.

2.17. Гудковскии С.В. Математическое моделирование упругих свойств льда и газогидратных каркасов

Несмотря на широкое распространение и важность для многих природных и технологических процессов лед и газовые гидраты остаются интересными объектами исследований. Кристаллическая решетка льда и газовых гидратов определяется расположением лишь атомов кислорода, в то время как атомы водорода в целом не упорядочены и расположены ближе к одному из двух соседних атомов кислорода. Такое состояние называется ориентационным или протонным беспорядком, т. к. ядро атома водорода состоит из одного протона. Этот беспорядок не исчезает при охлаждении, определяя остаточную энтропию [1]. Число возможных конфигураций увеличивается экспоненциально с ростом размера образца. Причем эти конфигурации могут заметно отличаться друг от друга по энергии и другим характеристикам. Гибкость молекул воды и подвижность сетки водородных связей затрудняет описание межмолекулярного взаимодействия. Используемые в экспериментах с обычным гексагональным льдом Ih допирующие добавки выводят систему из состояния протонного стекла, но при этом влияют на структуру получаемой низкотемпературной фазы, льда XI. Структурная сложность льда и газовых гидратов определяют актуальность разработки самых различных подходов к исследованию свойств этих систем. Но в настоящее время имеется явное противоречие в оценках энергетики различных протонных конфигураций, сделанных на основе высокоточных квантово-химических методов и на основе упрощенного метода молекулярных потенциалов. Делается даже вывод о непригодности метода потенциалов для этих целей. Однако причиной такого расхождения может быть тот факт, что упрощенные оценки обычно получают при фиксированных параметрах кристаллической решетки, не учитывая упругую энергию конфигураций.

С помощью разработанного алгоритма было получено большое число случайных протонных конфигураций гексагонального льда Ih и газогидратных каркасов ГС-3, КС-1 и КС-2. С помощью комбинированного метода моделируемого отжига дополнительно были вычислены энергетически наиболее и наименее выгодные конфигурации газогидратных каркасов. Расчеты общей энергии связи полученных конфигураций, а также упругой энергии кристаллической решетки проводились на основе пакета компьютерного моделирования TINKER с использованием потенциала АМОЕВА. Этот неаддитивный потенциал относится к числу самых точных, он учитывает изменчивость угла Н-О-Н и длин внутримолекулярных связей, а также поляризуемость отдельных атомов. Вычисление упругих констант и модулей упругости проводилось в рамках модели ли-

нейного однородного твердого тела для кубической, гексагональной и орторомбической симметрии. Были получены оценки вклада упругой энергии в общую энергию связи, а также вычислены упругие константы и модули упругости рассмотренных систем. Установлена уникальность протонной конфигурации льда XI, которая характеризуется крайне высоким значением упругой энергии, которая высвобождается при переходе от стандартных фиксированных размеров элементарной ячейки к свободным. Сделан вывод о том, что межмолекулярные потенциалы и другие упрощенные модели могут быть полезны в интерпретации результатов *ab initio* расчетов и экспериментальных данных, поскольку неудовлетворенность в исследовании протонной упорядоченности гексагонального льда Ih связана именно с тем, что обнаруженная в экспериментах с допированным льдом структура льда XI не имеет ясного теоретического объяснения.

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

Список литературы

- [1] PETRENKO V. F., WHITWORTH R. W. *Physics of Ice* / Oxford: Oxford University Press, 1999. 392 p.

2.18. Гусев О.И. О свойствах конечно-разностных алгоритмов для дисперсионных моделей мелкой воды

В докладе рассматриваются конечно-разностные алгоритмы для дисперсионных моделей мелкой воды второго приближения. Несмотря на то, что такие модели (а с ними и численные алгоритмы) разрабатываются более пятидесяти лет, работы по теоретическому анализу свойств этих алгоритмов, особенно в двумерном случае, встречаются крайне редко.

В настоящей работе теоретически исследуются свойства алгоритмов (устойчивость, численные дисперсия и диссипация) для линеаризованных двумерных моделей. Акцент делается на численных алгоритмах [1], основанных на расщеплении исходной системы дисперсионных уравнений на две подзадачи: гиперболическую систему уравнений мелкой воды с правой частью и эллиптическое уравнение для дисперсионной составляющей проинтегрированного по глубине давления. На каждом шаге по времени в численных алгоритмах эти подзадачи решаются поочередно. Гиперболическая часть решается при помощи явной двухшаговой схемы типа предиктор-корректор. Предлагается несколько вариантов таких схем в зависимости от того, где определяются искомые величины.

Модификации схемы существенно влияют на её свойства. Так, например, некоторые варианты являются абсолютно неустойчивыми при малых отношениях глубины акватории шагам сетки по пространству, в других же условиях устойчивость численного алгоритма для дисперсионной модели является даже менее ограничительным, чем аналогичного алгоритма для классической модели мелкой во-

ды. Приводятся примеры численных расчётов в задачах о поверхностных волнах, подтверждающие справедливость полученных теоретических оценок.

Список литературы

- [1] KNAKIMZYANOV G., DUTYKH D., GUSEV O. Dispersive shallow water wave modelling. Part IV: Numerical simulation on a globally spherical geometry // Communications in Computational Physics. 2018. Vol. 23, N. 2. P. 361–407.

2.19. Данилкин Е. Моделирование распространения выбросов автомобильного транспорта в уличном каньоне

Работа посвящена построению и апробации микро-масштабной математической модели и численного метода ее решения для исследования турбулентных течений и переноса газообразной примеси в уличных каньонах. Математическая модель опирается на осредненные по Рейнольдсу уравнения неразрывности и уравнения Навье – Стокса. Замыкание системы уравнений проводится с использованием двухпараметрической « $k - \epsilon$ » модели и градиентно-диффузионной гипотезы Буссинеска.

Численное решение описанной системы дифференциальных уравнений осуществляется на основе метода конечных объемов с использованием разнесенной сетки. При аппроксимации конвективных слагаемых уравнения переноса используется схема MLU [1]. Для согласования полей скорости и давления используется алгоритм SIMPLE [1]. Тестирование вычислительного алгоритма проведено на задаче исследования течения в начальном участке плоского канала при низких числах Рейнольдса. Верификация модели турбулентного течения проведена на задаче моделирования течения за обращенным назад уступом.

На основе построенной математической модели турбулентного течения проведен ряд расчетов для идеализированной модели уличного каньона. Область исследования представляла собой уличный каньон высотой от 5 до 24 м и шириной 20 м. Источник поступления примеси постоянной интенсивности располагался в центре уличного каньона вблизи поверхности. В расчетах исследовалось влияние высоты уличного каньона и скорости основного потока на структуру течения в уличном каньоне и характер распространения примеси.

Как увеличение высоты зданий, так и уменьшение скорости основного потока ухудшает проветриваемость уличного каньона и приводит к увеличению локальных максимумов концентрации примеси. Результаты расчетов также показали, что построенная модель воспроизводит основные режимы течения в уличном каньоне, показанные в работе [2], в которой моделирование турбулентности осуществлялось методом крупных вихрей (LES).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-1723.2017.5.

Список литературы

- [1] СТАРЧЕНКО А.В., НУТЕРМАН Р.Б., ДАНИЛКИН Е.А. Численное моделирование турбулентных течений и переноса примеси в уличных каньонах / Томск: Издательство Томского государственного университета, 2015. 252 с.
- [2] DANILKIN E., STARCHENKO A. Large eddy simulation of turbulent flow and of pollutant transport in a street canyon // Proc. SPIE 9680. 2015.

2.20. Данилов М.Н. Экспериментальное и теоретическое исследование изгиба многослойных панелей под воздействием статических и динамических нагрузок

В качестве ограждающих конструкций зданий применяются многослойные панели, включающие металлические обшивки из листового металла и один или несколько слоев из теплоизоляционных материалов. Такие конструкции при нормальном режиме работы воспринимают преимущественно статические нагрузки малой величины. Однако часто возникают ситуации, при которых тонкостенные элементы подвергаются воздействию изгибающих нагрузок значительной величины. К таким видам воздействия относятся ветровые и ударно-волновые нагрузки, возникающие при взрывах в результате аварий на промышленных предприятиях, взрывах бытового газа в жилых зданиях, террористических актах и т. д. Для обеспечения безопасной работы тонкостенных конструкций в экстремальных режимах интенсивного нагружения требуется применение современных методов определения напряженно-деформированного состояния конструкций и исследования их прочностных характеристик.

Настоящая работа является продолжением предыдущей работы автора [1], в которых выполнялось исследование напряженно-деформированного состояния и теплопередачи в многослойных панелях с металлическими обшивками. Проведено экспериментальное исследование изгиба трехслойных панелей с применением методов тензометрии и фотограмметрии (система Correlated Solutions VIC-3D). Методом тензометрии установлены режимы деформирования металлической гофрированной наружной обшивки панели и внутренней обшивки из алюминиевой фольги. Методом фотограмметрии определены деформации среднего слоя из пенополиуретана. Механические характеристики несущих металлических слоев определены экспериментально. Целью настоящей работы является разработка и апробация методики расчета легкосбрасываемых многослойных строительных конструкций, подвергающихся воздействию ударных волн.

Для тестирования используются результаты эксперимента [2] по исследованию динамики многослойных панелей нескольких различных конфигураций, предназначенных для защиты от взрыва. Рассматриваются многослойные панели, обшивки

которых выполнены из стеклопластика, а средние слои выполнены из различных полимерных материалов: полиуретан и листы экструдированной пены из стирол-акрилонитрильного сополимера трех различных марок по плотности. Нагружение панелей осуществляется с помощью ударной трубы.

В работе представлены результаты численного моделирования процесса деформирования рассматриваемых панелей из композитных материалов при воздействии ударной волны. Ударно-волновая нагрузка на конструкцию задана с помощью полуэмпирических зависимостей. Изучена работа трехслойных и шестислойных пластин со стеклопластиковыми обшивками и средним слоем из пенистых полимерных материалов. Определен характер деформирования и разрушения панели. Выполнено сопоставление результатов численного моделирования с данными эксперимента.

Определены области применимости различных тематических моделей деформирования композитных материалов и многослойных пластин. Установлено, что использование линейно-упругих моделей для решения подобных задач не допустимо. Поэтому в расчетах использовались модели, учитывающие зависимость свойств материалов от скорости деформирования. Разработанная методика позволяет определить напряжения и деформации в элементах конструкции при действии статических и динамических нагрузок различной величины и конфигурации. Результаты численного моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Список литературы

- [1] Данилов М. Н., Адищев В. В. Конечнo-элементный анализ поведения трехслойных панелей при статических и динамических воздействиях // Высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 5. С. 106–118.
- [2] GARDNER N., WANG E., KUMAR P., SHUKLA A. Blast Mitigation in a Sandwich Composite using Graded Core with Polyurea interlayer // Experimental Mechanics. 2012. Vol. 2. N. 52. P. 119–133.

2.21. Дмитриев В. Моделирование распространения звуковой волны в пористом материале с тупиковыми порами

В работе рассматривается процесс распространения одномерной линейной волны в пористом материале типа губки (с тупиковыми порами, заполненными газом), предложена математическая модель, учитывающая теплообмен между материалом среды и газом в ее порах.

Для схематизации структуры среды принята ячеистая схема, в которой пористый материал рассматривается как совокупность сферических пор, заполненных газом и не соединенных между собой, вокруг которых расположен слой материала скелета. При наличии движения температура в среде меняется как с течением времени, так и от точки

к точке объема, занятого средой. Однако передача тепла внутри среды путем теплопроводности является медленным процессом, и поэтому быстрый процесс распространения малых возмущений можно считать адиабатическим, что и принято в данной модели.

Характерными размерами среды являются средний радиус пор — a_0 и средняя полутолщина их стенок — b_0 . Модуль объёмной упругости среды $K = \rho C^2$ при этом определяется как

$$K = V \left(\frac{V_s}{K_s} + \frac{V_g}{K_g} \right)^{-1} = \left(\frac{\alpha_s}{K_s} + \frac{\alpha_g}{K_g} \right)^{-1},$$

где K_s — модуль упругости материала скелета пористой среды, K_g — модуль упругости газа.

Для описания процессов, происходящих в пористом материале при распространении акустической волны, записана соответствующая система уравнений. Результатом ее решения является дисперсионное соотношение, позволяющее рассчитать среднюю фазовую скорость и коэффициент затухания распространяющейся в среде волны.

При проведении расчетов контролировалось выполнение условия сплошности, т. е. длина волны должна быть больше характерного размера неоднородности среды.

В результате проведенных исследований изучено влияние параметров пористой среды и рода газа на динамику распространения акустической волны в пористом материале. Установлено, что: наличие газовых пор приводит к сильному уменьшению скорости распространения звуковых волн в пористой среде; с уменьшением размеров пор среды скорость распространения акустической волны возрастает; учет теплообмена достаточно сильно влияет как на коэффициент затухания, так и на скорость распространения акустической волны, при этом на низких частотах теплообмен оказывает незначительное влияние на затухание волны; если не учитывать теплообмен, то скорость акустической волны оказывается несколько завышенной.

2.22. Дьякова О.А. Режимы течения степенной жидкости в Т-образном канале

Рассматривается установившееся течение неньютоновской несжимаемой жидкости в плоском Т-образном канале. Движение жидкости осуществляется под действием заданного перепада давления между граничными сечениями втекания/вытекания. Математическая постановка задачи включает в себя уравнения движения и неразрывности. Эффективная вязкость определяется в соответствии с реологическим законом Оствальда — де Вилля [1]. На твердых стенках задается условие прилипания. Для нахождения стационарных полей скорости и давления используется метод установления [2]. Для коррекции

полей скорости и давления с целью выполнения уравнения неразрывности используются процедура SIMPLE [3].

Проведены параметрические исследования кинематических и динамических характеристик течения в зависимости от основных параметров задачи. Построена диаграмма характерных режимов течения при изменении значений перепада давления, задаваемого между границами втекания/вытекания канала, для различных степеней нелинейности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (грант № 18-19-00021).

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

Список литературы

- [1] Конвективный тепломассоперенос реологически сложных жидкостей / Под ред. В. И. Кушнырева. М: Энергия, 1975. 352 с.
- [2] Разностные схемы / Под ред. Г. Я. Пирогова. М: Наука, 1977. 440 с.
- [3] Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / Под ред. В. Д. Виоленского. М: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.

2.23. Еремин Н.В., Москвичев Е.В. Численный анализ деформирования компенсаторов температурных расширений токопровода с литой изоляцией

При эксплуатации были отмечены неоднократные случаи повреждения и разрушения изоляции токопроводов [1], приводящие к снижению надежности энергетических сетей и опасности жизни. Обнаружено, что основная причина этих повреждений и разрушений заключается в недопустимом уровне температурных деформаций токопровода, вызванном особенностью размещения компенсаторов температурных расширений в составе трассы. Объектом исследования являлся компенсатор температурных расширений токопровода, состоящий из набора медных токопроводящих шин, заключенных в изолирующем материале [2].

Конструкция компенсатора температурных расширений состоит из двух подвижных блоков, соединенных тремя упругими токопроводящими элементами. Упругий элемент состоит из набора 60 тонких пластин, работающих на растяжение-сжатие.

При численном анализе рассматривалась конечно-элементная модель упругого элемента, разработанная в двух вариантах.

1. Упрощенная модель, состоящая из одной пластины меди и не учитывающая силу трения между пластинами. Достоинства данной модели в малых вычислительных затратах.
2. Модель с трением, состоящая из полного набора пластин. В данной модели учитывалась сила трения между пластинами, что соответствует реальной конструкции упругого элемента.

В обоих вариантах задача моделировалась в трехмерной постановке. Ширина пластины составила

120 мм, толщина 0.2 мм. Конструкционный материал — медь с модулем Юнга равным 1.1 МПа и коэффициентом Пуассона равным 0.35. Начальная геометрия модели соответствовала сжатому состоянию элемента. Для построения регулярной конечно-элементной сетки использовался конечный элемент с 4 узлами. Размер конечных элементов составлял 5 мм.

В результате вычислительных экспериментов наблюдались две характерные стадии деформированного состояния. На первой стадии деформирования сопротивление конструктивной формы незначительно и характеризуется линейной зависимостью между усилием и перемещением. На второй стадии деформирования, зависимость между усилием и перемещением определяется сопротивлением материала упругого элемента, что характеризуется нелинейностью.

По результатам обработки полученных данных была дана оценка максимальной жесткости упругого элемента (23.15 Н/мм) и компенсатора температурных расширений (69.45 Н/мм) в зоне деформирования конструктивной формы. Было определено, что коэффициенты жесткости компенсатора температурных расширений полученные по численной модели с трением согласуются с экспериментальными значениями.

Рассмотренные подходы к моделированию компенсаторов температурных расширений позволяют проводить проектировочные и поверочные расчеты трасс токопроводов с литой изоляцией в целях обеспечения их безопасности и надежной эксплуатации. *Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках научного проекта № 16-48-243022.*

Список литературы

- [1] Москвичев Е. В., Филиппова Ю. Ф., Еремин Н. В. Задачи исследования механической прочности и условий разрушения токопроводов с литой изоляцией // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2017. № 10 (1). С. 17–23.
- [2] Москвичев Е. В., Еремин Н. В. Экспериментальные исследования физико-механических свойств материала литой изоляции токопровода // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2018. Т. 84 № 5. С. 55–59.

2.24. Ефимов Е.А. Полулагранжевый метод для одномерного уравнения неразрывности

Рассмотрим уравнение неразрывности [1]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} = 0.$$

Численный метод решения уравнения строится в области $D = [0, T] \times [0, 1]$, на которой вводится рав-

номерная разностная сетка. Предположим, что известны: функция скорости $u(t, x)$ во всей области D , начальные и граничные условия. Метод основывается на локальном законе сохранения [2]:

$$\int_{\Omega_i} \rho(t_k, x) dx = \int_{Q_i} \rho(t_{k-1}, x) dx + \int_{Q_{in}} \rho_{ib}(t) u_{ib}(t) dt.$$

Здесь Ω_i — окрестность i -го узла, Q_i, Q_{in} — области интегрирования по нижнему слою по времени и границе втекания. При вычислении значений искомой функции в узлах сетки производится аппроксимация траекторий и областей интегрирования, а также интерполяция сеточной функции на предыдущем слое по времени. В ходе теоретических и практических исследований было обнаружено, что данный метод имеет первый порядок сходимости относительно шага h .

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках научного проекта № 18-41-243006.

Список литературы

- [1] Годунов С. К., Рябенький В. С. Разностные схемы / Москва: Наука, 1977. 440 с.
- [2] Синь Вэнь, Вяткин А. В., Шайдуров В. В. Characteristics-like approach for solving hyperbolic equation of first order // Молодой учёный, 2013. № 3 (50). С. 5–12.

2.25. Зароднюк Т. С., Сороковиков П. С. Использование технологий обучения с подкреплением для построения модификаций алгоритмов глобальной оптимизации

Задача поиска глобального экстремума продолжает оставаться одной из самых проблемных как в теории оптимизации, так и в практических приложениях. Несмотря на усилия многих авторитетных специалистов и постоянный рост мощности доступных вычислительных систем, в ряде случаев имеющийся программный инструментарий оказывается совершенно беспомощным при даже относительно небольших размерностях задач — порядка нескольких сотен. Актуальной научной проблемой является поиск новых подходов к построению эффективных алгоритмов глобальной оптимизации.

В докладе обсуждается разрабатываемый авторами подход, основанный на использовании методик, активно развиваемых в последние годы в теории машинного обучения — методик обучения с подкреплением (reinforcement learning, www.machinelearning.ru). Основная идея заключается в создании стандартизированного набора алгоритмов, включающих как методы глобальной, так и локальной оптимизации, и оснащении реализованной библиотеки алгоритмов средствами мета-уровня, позволяющими автоматически строить рациональные вычислительные схемы для каждой

конкретной задачи, используя базовые алгоритмы в качестве «строительных кирпичей». Работа каждого базового алгоритма ограничивается путем отслеживания вычислительных затрат, оцениваемых либо числом вычислений оптимизируемой функции, либо затраченным процессорным временем. Реализованный «динамический планировщик» — средство мета-уровня — запускает поочередно различные базовые алгоритмы и, основываясь на успешности их работы, повышает вероятность запуска на последующих этапах вычислений тех алгоритмов, которые сумели лучше продвинуться по критерию уменьшения целевой функции. В качестве базовых алгоритмов используются модификации методов локальной оптимизации — сопряженных градиентов, квазиньютоновских, «оптимальных алгоритмов» Ю. Е. Нестерова [1], спектрально-проективных методов Ю. Г. Евтушенко [2] и другие, а также модификации алгоритмов глобальной оптимизации — Пауэлла, Розенброка, «парабол», Растригина, криволинейного поиска, сферического поиска, биоинспирированные методы «роя частиц», «дифференциальной эволюции», «гармонического поиска», «биогеографии», «светлячков», генетические методы [3], туннельные методы и другие. Проведенные тестовые расчеты на сформированной авторами коллекции тестовых задач подтвердили принципиальную работоспособность предложенного подхода. В докладе приводятся результаты вычислительных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-07-00627).

Список литературы

- [1] НЕСТЕРОВ Ю. Е. Методы выпуклой оптимизации / М.: Издательство МЦНМО, 2010. 281 с.
- [2] BIRGIN E., EVTUSHENKO YU. Automatic differentiation and spectral projected gradient methods for optimal control problems // Optimization methods and software. 1998. Vol. 10. N. 2. P. 20–42.
- [3] XING B., GAO W. J. Innovative computational intelligence: a rough guide to 134 clever algorithms / Springer International Publishing, 2014. 451 p.

2.26. Зимин А. И. Численное моделирование взаимодействия нерегулярных поверхностных волн и донного связного грунта

Продолжительные штормовые волнения влияют на перемещение связного грунта на дне водоемов вблизи прибрежных морских сооружений. Волны накатываются на стенки, отражаются, заплескиваются и обрушаются, тем самым создавая переменные пристеночные течения, уносящие и размывающие грунт около основания. С течением времени это может значительно сказаться на общей устойчивости сооружения. Таким образом, для обеспечения безопасности актуальна задача определения размыва связного грунта вблизи основания прибрежного сооружения под действием поверхностных волн.

Для моделирования этого явления рассматривается движение многокомпонентной вязкой несжимаемой среды, у которой вязкость и плотность зависят от концентрации компонент, соответствующих воздуху, воде и намокшему связному грунту. Каждая из таких компонент представляется вязкой несжимаемой жидкостью с собственными значениями вязкости и плотности, предполагается возможность диффузии массы между этими компонентами. Движение такой многокомпонентной среды описывается нестационарной системой уравнений Навье – Стокса, учитывающей перечисленные выше эффекты, а перенос компонент среды — уравнениями конвективной диффузии и соотношениями для определения плотности и вязкости (см. [1]).

В работе в продолжение [2] представлены результаты решения задачи взаимодействия нерегулярных поверхностных волн с препятствием в гидроволновом лотке, вызывающие перемещение донного связного грунта.

Список литературы

- [1] ZAKHAROV Y.N., ZIMIN A.I. Numerical simulation of surface waves arising from underwater landslide movement // Proc. Intern. Conf. «Mathematical and Information Technologies MIT-2016». 2017. P. 535–546.
- [2] Зимин А.И. Численное моделирование образования нерегулярных волн в гидроволновом лотке с препятствием // Тр. XIV Всерос. конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб: ЛЕМА, 2018. С. 220–223.

2.27. Казаков Е.А. Эредитарная маломодовая модель динамо

Существование крупномасштабных магнитных полей небесных тел успешно объясняется в рамках теории динамо. для моделирования космических динамо-систем на характерных временах их существования ($\sim 10^9$ лет) используются малоразмерные динамические системы. Эти модели описывают на феноменологическом уровне основные свойства реальных динамо-систем, такие как квадратичная нелинейность, взаимная генерация тороидальных и полоидальных полей с помощью α - и ω -эффектов, омическая диссипация поля, подавление α -эффекта спиральностью поля.

В простейшем виде для $\alpha\omega$ -динамо подобная модель сводится к классической системе Лоренца. При этом интенсивность α -эффекта определяется текущим значением спиральности поля. Однако есть данные о том, что этот механизм обладает пространственно-временной нелокальностью. Также нет и единого мнения о необходимости ненулевой спиральности поля для работы механизма динамо.

В настоящей работе предлагается и исследуется модель, которая дает возможность учесть эредитарность механизма подавления, а также охватывает не только $\alpha\omega$ -динамо, но и α^2 - и $\alpha^2\omega$ -динамо, важные для динамо звезд.

Математически модель записывается в виде следующей системы:

$$\begin{aligned}\frac{dB^T}{dt} &= (\omega + \xi(\alpha_0 - \alpha))B^P - \sigma B^T, \\ \frac{dB^P}{dt} &= (\alpha_0 - \alpha)B^T - B^P, \\ \alpha(t) &= \int_0^t J(t - \tau)Q(B^T(\tau), B^P(\tau))d\tau,\end{aligned}\tag{1}$$

где $B^T(t)$ и $B^P(t)$ — величина тороидальной и полоидальной компонент поля, $\alpha(t)$ — динамическая часть α -генератора, $J(\cdot)$ — ядро оператора подавления, $Q(\cdot, \cdot)$. Варьирование вида ядра и квадратичной формы позволяет моделировать различные виды эредитарности и подавления α -эффекта не только спиральность, но и, например, энергией.

В работе изучены методами теории устойчивости и вычислительного эксперимента динамические режимы, возникающие в системе (1) при различных видах ядра, квадратичной формы и значениях параметров. Установлено, что в этой модели могут воспроизводиться динамические режимы, характерные для реальных динамо-систем: устойчивая генерация, регулярные и хаотические инверсии, динамовсплески и т.п. Для некоторых частных случаев аналитически установлены области в пространстве параметров, соответствующие различным режимам генерации.

2.28. Калинин Е.С., Загарских С.А., Моисейченко В.А. Применение вычислительного моделирования для планирования эвакуации при пожаре в торгово-развлекательном центре

В данной работе исследован способ планирования безопасной эвакуации людей при пожаре из крупного торгово-развлекательного центра. Каждый торговый центр имеет уникальную планировку, и в случае возникновения чрезвычайной ситуации большинство людей будет пытаться покинуть здание не ближайшим безопасным выходом, а тем, через который они вошли в здание или который им хорошо знаком. Это может привести к давке и гибели людей в местах больших скоплений на основных выходах. Применяв компьютерное моделирование эвакуации к конкретному объекту, можно определить безопасные пути эвакуации при различных сценариях развития пожара, и, чтобы грамотно реализовать эвакуацию в реальных условиях, необходимо принять обучающие меры по отношению к персоналу торгового центра, основываясь на полученных расчетах.

В исследовании применялся полевой метод математического моделирования распространения опасных факторов пожара [1] и индивидуально-поточная модель эвакуации [2].

При помощи компьютерного моделирования был ис-

следован торговый центр на предмет безопасной эвакуации людей при пожаре. Были выявлены безопасные пути эвакуации при определенных сценариях развития пожара. В результате анализа были разработаны сценарии безопасной эвакуации и инструкции для персонала объекта.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Кирик Е. С.

Список литературы

- [1] КОШМАРОВ Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Москва: Академия государственной противопожарной службы МВД России, 2000. 119 с.
- [2] KIRIK E., MALYSHEV A., SENASHOVA M. On the evacuation module sigmaeva based on a discrete-continuous pedestrian dynamics model // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2016. Vol. 9574. P. 539–549.

2.29. Козлова С.В., Вяткин А.С., Меркулов М.В. Численное моделирование неустойчивости разделения бинарной смеси в цилиндрической термодиффузионной колонне

Разделение жидких и газовых смесей благодаря термодиффузии (эффекта Соре — переноса массы под действием градиента температуры) может быть достигнуто в экспериментальной установке, известной как термодиффузионная колонна. Термодиффузионная колонна представляет собой слой между твердыми стенками (плоскостями или коаксиальными цилиндрами), поддерживаемыми при различных температурах. Последние десятилетия такая установка является полезным инструментом для изучения термодиффузии и измерения коэффициентов термодиффузии в смесях [1, 2]. Однако надежные измерения возможны лишь при наличии устойчивого конвективного течения в колонне. Неустойчивость, возникающая в поле силы тяжести, может быть вызвана аномальным эффектом термодиффузии (когда более тяжелый компонент концентрируется в верхней части колонны). Однако было экспериментально показано Боу-Али и др. [3, 4], что в цилиндрической колонне потенциально неустойчивое разделение бинарных смесей с отрицательным эффектом Соре может быть устойчивым в некотором диапазоне приложенной разности температур.

В данной работе исследована устойчивость смеси вода — этанол с отрицательным эффектом Соре в цилиндрической колонне. С помощью линейного анализа устойчивости определены критические параметры неустойчивости для основного состояния. Также выполнено трехмерное численное моделирование разделения в Ansys Fluent 14.5. Параметры колонны и физические свойства смеси соответствуют экспериментальным данным [3, 4]. Использована колонна высотой 0.42 м, ширина зазора между стенками 1.93 мм. Начальная массовая доля этанола

0.2204. Для анализа зависимости разделения смеси от интенсивности конвективного течения приложены четыре разности температур. Результаты линейного анализа устойчивости и численного моделирования согласуются с результатами эксперимента.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки (грант № 18-41-243005).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Рыжков И. И.

Список литературы

- [1] BOU-ALI M., ECENARRO O., MADARIAGA J. ET AL. Thermogravitational measurement of the Soret coefficient of liquid mixtures // J. Phys. Condens. Matter. 1998. Vol. 10. P. 3321–3331.
- [2] LAPEIRA E., GEBHARDT M., TRILLER T. ET AL. Transport properties of the binary mixtures of the three organic liquids toluene, methanol, and cyclohexane // J. Chem. Phys. 2017. Vol. 146. P. 094507.
- [3] BOU-ALI M., ECENARRO O., MADARIAGA J. ET AL. Stability of convection in a vertical binary fluid layer with an adverse density gradient // Phys. Rev. E. 1999. Vol. 59. P. 1250–1252.
- [4] BOU-ALI M., ECENARRO O., MADARIAGA J. ET AL. Measurement of negative Soret coefficients in a vertical fluid layer with an adverse density gradient // Phys. Rev. E. 2000. Vol. 62. P. 1420–1423.

2.30. Корниенко В.С., Слабко В.В., Ципотан А.С. Самосборка наночастиц в устойчивые наноструктуры под действием лазерного поля

В последние десятилетия активно изучаются наноструктуры с уникальными свойствами, отличными от свойств массивного образца и зависящие от состава и формы. Поэтому проблема разработки универсального метода образования наноструктур представляет интерес для многих ученых. Наименее дорогой метод получения коллоидных кристаллов, который не требует локального физического воздействия на систему, основан на способности самоорганизации наночастиц в процессе случайных броуновских столкновений в реальных дисперсных системах [1]. Однако в таком случае невозможно контролировать процессы образования наноструктур с заданными формами. Поэтому одним из возможных решений этой проблемы является физическое воздействие на ансамбли наночастиц, что позволяет формировать сложные наноструктуры без дополнительных поверхностных модификаций [2]. Однако не всегда возможно добиться избирательности процесса самосборки.

В этом исследовании предлагается динамическая модель самосборки для тройки частиц в лазерном поле с использованием броуновской динамики. Эксперименты [3, 4] по формированию пар коллоидных квантовых точек в области лазерного излучения показали возможность реализации этого метода. Дальнейшее образование более сложных струк-

тур (трех или более частиц) может быть реализовано способом поэтапного процесса, когда третья частица добавляется к уже сформированной паре частиц путем выбора длины волны внешнего поля. В рамках данной работы предложена динамическая модель самосборки наночастиц в поле лазерного излучения с целью исследования возможности поэтапной сборки структуры, состоящей из трех частиц, с различной формой. Рассмотрен процесс формирования таких структур с заданной геометрией в варианте присоединения к заранее сформированной паре частиц третьей частицы.

Полученные результаты являются основой для проведения физического эксперимента по формированию наноструктуры из тройки частиц и позволяют добиться значительного прогресса в изучении метода самосборки конструкций в области лазерного излучения, который может быть использован в качестве универсального метода для формирования структур с заданными свойствами, которые найдут применение в качестве датчиков, элементов фотодиода и солнечной энергии клетки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-72-00003).

Список литературы

- [1] KARPOV S. V., ISAEV I. L., GAVRILYUK A. P. General principles of the crystallization of nanostructured disperse systems // Colloid Journal. 2009. Vol. 71. N. 1.3. P. 313–328.
- [2] GONG J. LI, TANG Z. Self-assembly of noble metal nanocrystals: Fabrication, optical property and application // Nano Today. 2012. Vol. 7. N. 6. P. 564–585.
- [3] SLAVKO V. V., TSIPO TAN A. S., ALEKSANDROVSKY A. S. Resonant light-controlled self-assembly of ordered nanostructures // Photonics and nanostructures. Fundamental and Applications. 2012. Vol. 10. P. 636–643.
- [4] SLAVKO V. V., TSIPO TAN A. S., ALEKSANDROVSKY A. S. Self-organised aggregation of a pair of particles with different resonant frequencies and electric dipole moments of transitions, controlled by an external quasi-resonant field // Quantum Electronic. 2013. Vol. 43. P. 458–462.

2.31. Корниченко В.С., Шайдулов В.В. Поиск равновесия по Нэшу для задачи загрязнения атмосферы диоксидом углерода

В современной теории игр Mean-Field Game (MFG) подход — это игры с очень большим количеством агентов, взаимодействующих в «среднем» поле таким образом, что каждый агент оказывает очень малое влияние на результат. В результате игра может быть проанализирована в пределе бесконечного числа агентов. Этот подход, независимо разработанный в работах М. Я. Хуан, П. Е. Каинс и Р. Малхаме [1] и в работах П. Л. Лионса [2], был успешно адаптирован ко многим проблемам в физике, биологии, сетевой инженерии и экономике. В то же время как

теоретические, так и численные вычисления среднесрочных игровых равновесий остаются серьезными проблемами. Равновесие по Нэшу традиционно приводит к связанной системе двух параболических уравнений в частных производных: уравнения Колмогорова и Гамильтона — Якоби — Беллмана [3].

Данная работа сосредоточена на дискретном приближении этих уравнений в двумерном случае и на применении теории MFG непосредственно на дискретном уровне. Этот подход приводит к эффективному алгоритму для поиска соответствующих функций управления. В отличие от разностных схем с направленными разностями, здесь применяется полулагранжево приближение, что улучшает свойства дискретной задачи этого типа. Это подразумевает быструю сходимость итерационного алгоритма для минимизации функционала стоимости. Ранее это приближение использовалось для решения однотипной одномерной задачи [4]. Построенные алгоритмы реализованы для задачи загрязнения атмосферы диоксидом углерода при фиксированном налогообложении.

Работа частично поддержана РФФИ (грант № 17-01-00270) и национальным фондом естественных наук Китайской народной республики (91430108)

Список литературы

- [1] HUANG M. Y., CAINES P. E., MALHAME R. P. Large population stochastic dynamic games: closed loop Kean-Vlasov systems and the Nash certainty equivalence principle // Commun. Inform. Systems. 2006. Vol. 6. N. 3. P. 221–252.
- [2] LASRY J. M, LIONS P. L. Mean field games // Japan J. Math. 2007. Vol. 2. N. 1. P. 229–260.
- [3] BENSOUSSAN A., FREHSE J., YAM P. Mean Field Games and Mean Field Type Control Theory / Berlin:Springer, 2013. 128 p.
- [4] SHAYDUROV V., ZHANG S., KAREPOVA E. Conservative Difference Schemes for the Computation of Mean-Field Equilibria // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1892. P. 20–35.

2.32. Крахалёв А. О модели динамики цен на рынке недвижимости

В настоящее время наблюдается резкий подъем активности на рынке жилья. Однако результаты нескольких лет показали, что стоимость квартир снизилась в половине областей России, показав тем самым спад стоимости в 5–6%. Существует необходимость в изучении и развитии моделирования рынка недвижимости. Ранее в [1, 2] были рассмотрены некоторые модели функционирования этого рынка в предположении, что заданы цены и спрос на квартиры различных видов в краткосрочном и долгосрочном периоде. В настоящей работе предлагается рассматривать рынок как взаимодействие трех групп субъектов, при этом каждый субъект моделируется задачей математического программирования, стохастическими параметрами которых, в том

числе являются спрос и цены. Построены новые методы долгосрочного прогнозирования цен и предложения. Для этого построен аналог модели динамики спреда [3] с гармоническими колебаниями вида:

$$\delta(t) = \exp \left(\sum_{i=1}^m \theta_i \varphi(t)^{i-1} + \sum_{i=1}^n \theta_{m+i} \sin \left(\frac{2\pi\psi(t)}{\tau_i} \right) + \frac{\sigma^2}{2} \right),$$

где t — это момент времени прогнозируемого периода; θ_i , τ_i — постоянные коэффициенты; σ — коэффициент волатильности («шум»); m — число слагаемых в полиноме, описывающем тренд; n — число гармоник в этом описании. Числа m , n и вид функций $\varphi(t)$ и $\psi(t)$ выбираются в зависимости от вида показателя (предложение или цена) и в зависимости от числа известных значений этого показателя в ретроспективе, чтобы наше приближение минимально отклонялось от ретроспективы. Алгоритмы нахождения численных значений случайных параметров могут интерпретироваться как математическое ожидание от численного решения стохастического дифференциального уравнения.

В докладе будут представлены усовершенствованная модель, которая учитывает взаимосвязи на реальном рынке, результаты расчетов, а также будет показано, как динамика цен и параметры рынка влияют на функционирование рынка недвижимости и на процесс согласования планов субъектов этого рынка. Предполагается дальнейшее развитие данной работы и нахождения равновесных цен для рынка недвижимости.

Список литературы

- [1] ХУТОРЕЦКИЙ А. Б. Анализ краткосрочных равновесий на рынке жилья с приложением к разработке жилищной политики / М.: РПЭИ, 2001. 97 с.
- [2] КРАХАЛЁВ А. А. Новые модели динамики цен на рынке недвижимости // Материалы XVIII Всероссийской конференции молодых учёных по математическому моделированию. Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2017. С. 112.
- [3] АРТЕМЬЕВ С. С., ЯКУНИН М. А. Математическое и статистическое моделирование в финансах / Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2008. 173 с.

2.33. Кривов М.А. Численное моделирование движения небесных тел в атмосфере Земли

Одной из фундаментальных проблем планетных исследований является описание процессов, происходящих при движении космических тел в атмосфере Земли. По графической информации с фоторегистраторов необходимо воспроизвести весь процесс движения и разрушения тела, начиная от момента его входа в атмосферу и до окончательного распада болида. Проведение подобных исследований, в част-

ности, требуется для определения ожидаемого места падения метеорита с целью поиска и сбора его частей.

В докладе будет рассмотрен ключевой этап этой задачи — определение скорости $V(t)$, высоты над поверхностью $h(t)$ и массы тела $M(t)$. Рассматриваемый метод основан на поиске решения системы ОДУ, предложенной Стуловым и др. [1] для описания движения небесного тела в атмосфере. Особенностью решаемой задачи является отсутствие начального условия $M(t=0)$ и точных значений ряда параметров, которые уникальны для каждого болида (например, объемная плотность тела и темп уноса массы). При этом имеются значения $V(t)$ и $h(t)$ для светящегося участка пути $t \in \{0, T_1, \dots, T_n\}$, которые восстанавливаются по снимкам с фоторегистраторов.

В схожих работах [2] применяются существенные упрощения, благодаря которым удаётся построить автомодельное решение. В отличие от них, предлагаемый подход основан на численном решении набора исходных систем уравнений, полученных путём подстановки наиболее вероятных значений для неизвестных параметров. Среди решений отбираются варианты, которые по норме L^2 наиболее соответствуют имеющимся функциям $V(t)$ и $h(t)$, что позволяет оценить параметры небесного тела (массу, форму и состав).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-37-00429-мол_а).

Список литературы

- [1] Стулов В. П., Мирский В. Н., Вислый А. И. Аэродинамика болидов / Москва: Наука, 1995. 236 с.
- [2] GRITSEVICH M. ET AL. A comprehensive study of distribution laws for the fragments of Kosice meteorite // Meteoritics & planetary science. 2014. Vol. 49. N. 3. P. 328–345.

2.34. Крюков А.Е., Чирков Д.В., Салменко А.Е. Теоретические основы расчета ресурса гидротурбины

Оценка прочности и усталостной долговечности элементов гидротурбин является актуальной задачей при проектировании перспективных установок или замене их частей. Стремление к увеличению КПД и снижению массы приводит к ухудшению прочностных характеристик и сокращению ресурса турбины. Большинство существующих оценок ресурса занижают срок службы установки, что при проектировании приводит к отбрасыванию надежных прототипов с высокими энергетическими показателями. Для адекватной оценки ресурса гидроустановки важно наиболее точно рассчитывать эволюцию напряжений, возникающих в конструкции от нагрузок со стороны потока жидкости, во всем диапазоне режимов ее работы.

В настоящей работе для конкретной радиально-осевой гидротурбины проведен анализ динамики

напряжений в подверженном наибольшему нагружению ее элементу — рабочем колесе. Представлены результаты численных экспериментов для трех режимов работы гидротурбины: частичной загрузки, оптимального КПД и максимальной мощности. Для указанных режимов рассчитаны пульсации давления в проточной части в рамках осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье — Стокса замкнутых модифицированной $k - \varepsilon$ моделью турбулентности [1]. Затем определены частоты и формы собственных колебаний изолированной лопасти и всего рабочего колеса в воздухе и в воде. По степени близости частот собственных колебаний конструкции в воде и частот вынужденных колебаний нагрузки от потока выбран наиболее эффективный подход для дальнейшего расчета пульсаций напряжений. Если частоты собственных колебаний далеки от частот вынужденных колебаний, то использована квази-статическая постановка, в которой на каждом шаге по времени решаются уравнения упругого равновесия и динамика напряжений складывается из множества мгновенных статических состояний конструкции. В противном случае использована полная динамическая постановка, в которой эволюция напряжений находится из нестационарных уравнений упругости. Задача в этом случае существенно усложняется требованием задания начальных полей смещений и производных от них по времени, но зато она позволяет учесть эффект резонанса, усиливающий в разы амплитуду колебаний напряжений в конструкции.

Показано, что наибольшее влияние на напряженно-деформированное состояние рабочего колеса на рассматриваемых режимах оказывают ротор-статор взаимодействия лопастей рабочего колеса с лопатками направляющего аппарата, прецессирующий вихревой жгут в отсасывающей трубе и сход вихрей Кармана с выходных кромок лопастей колеса [2]. Оценен вклад от каждого из перечисленных явлений в сокращение срока службы всей установки с помощью модели образования усталостных трещин и правила линейного суммирования повреждений [3].

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Черный С. Г.

Список литературы

- [1] Черный С. Г., Чирков Д. В., Лапин В. Н. и др. Численное моделирование течений в турбомашинах / Новосибирск: Наука, 2006. 202 с.
- [2] Крюков А. Е., Сизова С. С. Сравнительный анализ нестационарных нагрузок на рабочее колесо гидротурбины // Тр. Междунар. Конф. «Гидравлические машины, гидроприводы, гидропневмоавтоматика. Современное состояние и перспективы развития». Спб: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. С. 125–152.
- [3] LYUTOV A., KRYUKOV A., CHERNY S. ET AL. Modelling of a Francis Turbine Runner Fatigue Failure Process Caused by Fluid-Structure Interaction // IOP

Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 49.

2.35. Курдяева Ю. А. Численное моделирование генерации акустико-гравитационных волн от вариаций давления на поверхности Земли, заданных на нижней границе

Работа посвящена численному моделированию вертикального распространения акустико-гравитационных волн (АГВ) от вариаций давления на поверхности Земли. Распространение АГВ, возникающих на тропосферных высотах, в верхнюю атмосферу являются одной из причин изменения параметров атмосферы.

Источником генерации волн могут быть процессы нагрева/охлаждения газа при фазовых переходах воды в атмосфере. Имеющейся экспериментальной информации, которая может быть использована при численных расчетах, обычно недостаточно для детального описания таких источников. Неопределенность в параметрах источников волн влияет на точность и надежность расчетов. Использование экспериментальной информации о вариациях давления на поверхности Земли является одним из способов решения данной проблемы. Математическое исследование граничной задачи о генерации волн от переменного давления показало, что волновая картина однозначно определяется переменным давлением на поверхности Земли, но не зависит от деталей температуры и плотности. Сравнение численных и аналитических решений при тестировании численной модели показало хорошее совпадение.

Для моделирования была использована трехмерная суперкомпьютерная модель «AtmoSym» [1–3]. Модель позволяет решать проблемы распространения волн из различных начальных возмущений и источников волн в диапазоне высот 0–500 км и над территорией с горизонтальным масштабом до нескольких тысяч километров.

Нагрев верхней атмосферы, полученный при численном моделировании с использованием экспериментальных данных, диссипирующими волнами соответствует теоретическим представлениям. Расчеты распространения волн от волновых вариаций давления на поверхности Земли выполнены впервые. Трехмерные расчеты выполнены на суперкомпьютере Ломоносов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-05-00574).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Кшевецкий С. П.

Список литературы

- [1] GAVRILOV N. M., KSHEVETSKII S. P. Numerical modeling of propagation of breaking nonlinear acoustic-gravity waves from the lower to the upper

atmosphere // Advances in Space Research. 2013. Vol. 51. P. 1168–1174.

- [2] KSHEVETSKII S. P. Analytical and numerical investigation of non-linear internal gravity waves // Nonlinear Processes in Geophysics. 2001. Vol. 8, P. 37–53.
- [3] КШЕВЕЦКИЙ С. П. «AtmoSym» — многомасштабная модель атмосферы от поверхности Земли до 500 км. [Электронный ресурс]. URL: <http://atmos.kantiana.ru/language/ru/> (дата обращения 14.09.2018).

2.36. Куянова Ю.О. 3D-моделирование установки виртуального стента в церебральном сосуде с аневризмой

Исследование церебральной гемодинамики имеет первостепенное значение как для фундаментальных исследований циркуляции крови, так и в клинической нейрохирургии. Церебральная аневризма является патологическим расширением стенки кровеносного сосуда. Такая патология встречается с частотой около 1/50 у людей. Развертывание в сосуде нейрохирургического стента (или поток-перенаправляющего стента) является одним из методов лечения аневризмы головного мозга. Численный расчёт динамики жидкости (computational Fluid Dynamics или CFD) [1, 2] — это современный метод для экспериментов, который может быть применен в нейрохирургии. В настоящее время существует множество работ [3, 4], в которых рассматривается виртуальное развертывание стента.

Мы используем комплексный подход, объединяющий результаты врачей и математиков для улучшения знаний в этой области. В данном исследовании рассматриваются численные эксперименты, базирующиеся на собранных нами клинических данных. Однако для установки граничных условий мы используем экспериментальные данные, собранные с помощью блока измерения Combo Map в клинике. Наши предыдущие исследования показывают важность точности 3D-сегментации и персонализации граничных условий. В текущей работе мы проводим сравнительный анализ 2х CFD расчётов (до и после установки нейрохирургического стента) [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке правительства РФ (грант № 14.W03.31.0002).

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Паршин Д. В.

Список литературы

- [1] VOROBTSOVA N. A., YANCHENKO A. A., CHEREVKO A. A ET AL. Modelling of cerebral aneurysm parameters under stent installation // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 2013. Vol. 28. N. 5. P. 505–516.
- [2] КНЕ А. К., ЧУПАКХИН А. П., CHEREVKO A. A ET AL. Viscous dissipation energy as a risk factor in multiple cerebral aneurysms // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 2015. Vol. 30. N. 5. P. 277–287.
- [3] LARRABIDE I., KIM M., AUGSBURGER L. ET AL. Fast virtual deployment of self — expandable stents: Method

and in vitro evaluation for intracranial aneurysmal stenting // Medical Image Analysis. 2012. N. 16. P. 721–30.

- [4] CEBRAL J. R., MUT F., SFORZA D. ET AL. Clinical application of image-based CFD for cerebral aneurysms // Int. J. Numer. Meth. Biomed. Engng. 2011. N. 27. P. 977–992.
- [5] PARSHIN D. V., KUJANOVA I. O., KISLITSYN D. ET AL. On the impact of flow-diverters on the haemodynamics of cerebral blood vessels // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics (in press).

2.37. Леонова Ю.Ф. Алгоритм соединения циклов для приближённого решения задачи коммивояжера

Задача коммивояжера (ЗК) — важная задача комбинаторной оптимизации, поиск эффективного решения которой до сих пор остаётся актуальной.

В работе приводится описание и исследование следующего алгоритма для решения ЗК.

Алгоритм соединения циклов

Вход:

полный граф $G = (V, E)$,
весовая функция $W : E \rightarrow R$,
вид экстремума $\text{ext} \in \{\min, \max\}$.

Выход:

гамильтонов цикл экстремального веса.

Шаг 1. Найти 2-фактор $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ экстремального веса в графе G .

Шаг 2. Если $n = 1$, то вернуть c_n — найденное решение. Останов.

Шаг 3. для всех попарно различных $r, t \in C, r < t$ вычислить

$$\begin{pmatrix} *e_{\{r,t\}}^r \\ *e_{\{r,t\}}^t \\ *f_{\{r,t\}} \\ *g_{\{r,t\}} \end{pmatrix} = \arg \begin{matrix} \text{ext} & W(e^r, e^t, f, g), \\ e^r = \{v_1, v_2\} \in E(r) \\ e^t = \{u_1, u_2\} \in E(t) \\ f, g \in E(G) : f \cup g = e^r \cup e^t \end{matrix}$$

$$W(e^r, e^t, f, g) = [W(f) + W(g) - W(e^r) - W(e^t)],$$

$$\tilde{W}(r, t) = W(f_{r,t}) + W(g_{r,t}) - W(e_{r,t}^r) - W(e_{r,t}^t).$$

Шаг 4. Пока $n > 1$ выполнять шаги 4.1–4.4.

Шаг 4.1. Пусть

$$(r, t) = \arg \text{ext}_{r,t \in C} \tilde{W}(r, t), \quad r < t.$$

Шаг 4.2. Построить цикл

$$c : V(c) = V(r) \cup V(t), \quad E(c) = (E(r) \cup E(t) \cup \{*f_{r,t}, *g_{r,t}\}) \setminus \{*e_{\{r,t\}}^r, *e_{\{r,t\}}^t\}.$$

Шаг 4.3. Модифицировать 2-фактор

$$C : r = c; \quad C := C \setminus \{t\}; \quad n := n - 1.$$

Шаг 4.4. для всех $t \in C : t \neq r$ вычислить

$$\begin{pmatrix} *e_{\{r,t\}}^r \\ *e_{\{r,t\}}^t \\ *f_{\{r,t\}} \\ *g_{\{r,t\}} \end{pmatrix} = \arg \quad \text{ext} \quad W(e^r, e^t, f, g),$$

$$\begin{matrix} e^r = \{v_1, v_2\} \in E(r) \\ e^t = \{u_1, u_2\} \in E(t) \\ f, g \in E(G) : f \cup g = e^r \cup e^t \end{matrix}$$

$$W(e^r, e^t, f, g) = [W(f) + W(g) - W(e^r) - W(e^t)],$$

$$\tilde{W}(r, t) = W(f_{r,t}) + W(g_{r,t}) - W(e_{r,t}^r) - W(e_{r,t}^t).$$

Шаг 5. c_1 — найденное решение. Останов.

Конец описания алгоритма

Описанный алгоритм является развитием алгоритма дополнения паросочетаниями [1, 2].

Теорема 1 Алгоритм решает метрическую задачу коммивояжера на максимум ($\text{ext} = \max$) с гарантированной точностью

$$\frac{W_{\text{alg}}}{W_{\text{opt}}} \geq \frac{5}{6}.$$

Многочисленные вычислительные эксперименты с алгоритмом дают основания выдвинуть следующую гипотезу

Гипотеза 1 Алгоритм является асимптотически точным на классе задач с равномерным распределением весов ребер.

Результаты вычислительных экспериментов и их анализ обсуждаются в докладе.

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

Список литературы

- [1] Панюков А.В. Алгоритм дополнения паросочетаниями для асимметричной задачи коммивояжера // Математическое и статистическое исследование социально-экономических процессов под ред. А.В. Панюкова / Челябинск: ЮУрГУ, 2008. С. 115–122.
- [2] Игошева Ю.Ф. Статистическое исследование алгоритма дополнения паросочетаниями для асимметричной задачи коммивояжера большой размерности // Материалы Всероссийской школы-конференции молодых ученых. Уфа: УГАТУ, 2013. Т. 1. С. 211–214.

2.38. Ли К. Исследование дефектов изоляции провода с помощью моделирования

При производстве кабельных изделий появляются дефекты изоляции, которые приводят к изменению емкости. Для изучения влияния геометрических размеров дефектов на степень изменения емкости провода необходимо создание набора образцов проводов с разными дефектами и геометрическими размерами [1]. Компьютерное моделирование дефектов позволяет минимизировать материальные затраты на создание набора образцов, создавать сложные дефекты с заданными параметрами. Решение задачи проводилось путем физического и математического моделирования [2]. Физическая модель провода создавалась путем нанесения

на медную проволоку термоусадочной трубки из полиэтилена и формирования дефектов изоляции, таких как:

- инородное включение (медная стружка);
- воздушная полость на границе «жила — изоляция»;
- воздушная полость внутри изоляции.

Также эти дефекты создавались и в среде численного моделирования, а критерием оценки стало изменение емкости. Для контроля емкости применен измеритель емкости САР — 10 — разработка научного коллектива ТПУ [1]. Выявлено, что к уменьшению емкости на 1,5 приводит наличие (в объеме от провода):

- медной стружки объемом 0,2;
- воздушной полости внутри изоляции объемом 5;
- воздушной полости на границе «жила — изоляция» объемом 9.

Доказана адекватность физической и математической модели. Таким образом, математическое моделирование — эффективный инструмент для дефектоскопии посредством САР — 10.

Научный руководитель — к.т.н. Вавилова Г.В.

Список литературы

- [1] Вавилова Г.В., Рюмкин А.В. Применение измерителя емкости САР-10 для выявления локальных дефектов изоляции провода // Тр. V Междунар. Конф. «Молодёжь Сибири — науке России». Красноярск: Изд-во Сибирского института бизнеса, управления и психологии, 2016. С. 339–342.
- [2] Рюмкин А.В., Вавилова Г.В. Моделирование влияния дефектов провода на его ёмкость // Сборник трудов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2017. С. 122–125.

2.39. Липовка А.И., Паршин Д.В. Математическое моделирование ткани церебральной аневризмы

Церебральная аневризма — достаточно широко распространенная патология сосудов головного мозга. Её могут вызывать различные факторы: гидродинамические явления, деградация стенки сосуда и другие. Несмотря на существование различных работ [1], где рассматриваются механические свойства аневризматической ткани, процесс запуска процесса деградации не до конца ясен. Поэтому существует потребность построить математическую модель ткани аневризмы [2]. Мы должны быть уверены в допустимости использования модели, вне зависимости от выбора.

В нашей работе были использованы трёх и пяти параметрические модели Муни — Ривлина. Расчеты показали, что существуют критические значения натяжения, в области, где значение коэффициентов Муни — Ривлина достигают экстремума. Мы полагаем, что это значение является границей допу-

стимых напряжений для использования модели Муни — Ривлина.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-03-30002).

Список литературы

- [1] CEBRAL J., DUAN X., CHUNG B. ET AL. Wall Mechanical Properties and Hemodynamics of Unruptured Intracranial Aneurysms // AJNR Am. J.Neuriradiol. 2015. Vol. 36. N. 9. P. 1695–1703.
- [2] COSTALAT V., SANCHEZ M., AMBARD D. ET AL. Biomechanical Wall Properties of Human Intracranial Aneurysms Resected Following Surgical Clipping // Journal of Biomechanics. 2011. Vol. 44. N. 15. P. 2685–2691.

2.40. Лёзина Н.Р., Шелопут Т.О. Исследование и решение задачи о восстановлении граничных функций на «внешних и внутренних жидких границах» в задаче о распространении тепла

В гидротермодинамике известна проблема постановки граничных условий на «жидких» границах. В данной работе под «внешней жидкой» границей будем подразумевать границу «вода — вода», отделяющую рассматриваемую акваторию от Мирового океана. «Внутренней» границей будем называть границу, которая появляется при использовании метода разделения области. Задачи определения дополнительных неизвестных («граничных функций») в граничных условиях можно рассматривать как обратные и решать с использованием вариационного подхода. Вводя разделение области на подобласти путем введения «внутренней жидкой» границы можно добиться некоторого упрощения процедур численного решения задач в подобластях. В данной работе будет рассматриваться методология построения алгоритмов разделения области, которая предлагается в [1].

Существуют различные подходы к моделированию областей с «внешними жидкими границами». Например, в работе [2] был использован подход к заданию граничных условий, основанный на вариационной ассимиляции данных. Для аппроксимации модели по времени был использован метод расщепления, что позволило рассматривать задачу ассимиляции данных для нелинейной модели гидротермодинамики на каждом интервале по времени, решая последовательно более простые задачи ассимиляции, привлекая соответствующие изменяющимся переменным данные наблюдений.

В данной работе был сформулирован итерационный алгоритм для решения обратной задачи о восстановлении граничных функций в граничных условиях на «внешних и внутренних жидких границах» для задачи о распространении тепла в Балтийском море с применением вариационных методов, в частности, метода оптимального управления. Также были получены достаточные условия сходимости ите-

рационного алгоритма и проведен ряд численных экспериментов применительно к акватории Балтийского моря. Использование вариационной ассимиляции данных позволяет добиться лучшего соответствия вычисляемых профилей температуры по глубине и наблюдаемых профилей вблизи «внешних жидких» границ акватории Балтийского моря. Было проведено сравнение результатов численного решения задачи на всей области с решением с применением метода разделения области. Данные результаты практически совпадают.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-31-00096).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Агошков В.И.

Список литературы

- [1] Агошков В.И. Методы разделения области в задачах гидротермодинамики океанов и морей / М.: ИВМ РАН, 2017. 192 с.
- [2] AGOSHKOV V.I. Statement and study of some inverse problems in modeling of hydrophysical fields for water areas with 'liquid' boundaries // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 2017. Vol. 32. N. 2. P. 73–90.

2.41. Марзаева В.И. Численное моделирование распространения лесных пожаров с учётом противопожарных барьеров

С помощью численного моделирования изучался процесс распространения верховых лесных пожаров при наличии противопожарных разрывов и заслонов. Данный метод обладает рядом преимуществ по сравнению с физическим экспериментом, например, экологической безопасностью и большей экономической эффективностью [1]. Задачами исследований являлись улучшение знаний о фундаментальных физических механизмах, которые описывают возникновение и распространения процесса горения при лесных пожарах, а также оценка эффективности противопожарных разрывов и заслонов, и контроля их защитного действия. Математически данная задача сводится к решению уравнений Рейнольдса для турбулентного течения с учетом химических реакций. Для получения дискретного аналога использован метод контрольного объема. Возникающие при дискретизации сеточные уравнения решались с помощью метода SIP [2]. Применялся метод расщепления по физическим процессам, то есть вначале рассчитывалась структура течения и распределения скалярных функций без учета химических реакций, а затем решались уравнения химической кинетики с учётом источниковых членов в уравнениях для определения температуры и концентраций компонент [3]. В результате, с помощью численных расчетов получены распределения полей скорости, температуры, концентраций кислорода, летучих продуктов пиролиза и горения и объемных долей конденсированной фазы. Модель позволила в динамике получить контуры распространения верховых лесных пожаров, которые зависят

от запаса и вида лесных горючих материалов, вла­госодержания, скорости и направления ветра и т. д. Также удалось определить зависимость размеров противопожарных разрывов и заслонов от вышеука­занных параметров, при которых верховой пожар прекращает распространение.

Список литературы

- [1] Гришин А. М. Математические модели лесных по­жаров и новые способы борьбы с ними / Новоси­бирск: Наука, 1997. 408 с.
- [2] ПАТАНКАР С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / Москва: Энер­гоатомиздат, 1984. 152 с.
- [3] ПЕРМИНОВ В. А. Математическое моделирование возникновения массовых и верховых лесных пожа­ров с учетом радиационно-конвективного тепломас­сопереноса и двухтемпературности среды: дис. канд. физ.-мат. наук. ТГУ, Томск, 1995. 183 с.

2.42. Марков П.В. Анализ проблем применения поромасштабного моделирования мно­гофазной фильтрации для обоснования фильтрационных параметров на мас­штабах месторождений нефти и газа

При моделировании разработки нефтяных и газо­вых месторождений важным является качествен­ное обоснование фильтрационных свойств модели­руемой пластовой системы: абсолютная проницае­мость, капиллярное давление, относительные фазо­вые проницаемости (ОФП). Определение фильтра­ционных параметров пласта на уровне образцов кер­на в настоящее время изучается преимущественно экспериментально. При этом необходимые условия проведения эксперимента не всегда соблюдаются, количество выполненных измерений часто бывает недостаточным, а сложные и дорогие эксперимен­ты, например расчет ОФП для низкопроницаемых образцов коллектора или трехфазной фильтрации, и вовсе практически не проводятся. В данном до­кладе эти проблемы выделены и обобщены.

Одним из решений данных проблем является раз­работка и применение новых методов поромасштаб­ного моделирования процессов фильтрации, кото­рые учитывают всю сложность структуры пустот­ного пространства и происходящих там процессов. К этим методам относится поромасштабное модели­рование совместно с методами цифрового исследо­вания кер­на [1, 2]. Однако для этого направления существует ряд проблем, которые упоминаются, на­пример в статье [3], а в докладе они систематизиру­ются и обобщаются:

- Проблемы получения достоверных исходных дан­ных для поромасштабного моделирования.
- Проблемы совместного поромасштабного модели­рования различных процессов.
- Проблемы ремасштабирования результатов на все масштабы нефтегазоносного пласта.

Одним из направлений поромасштабного модели­рования является поросетевое моделирование [2, 4]. Применение моделей поровых сетей является ком­промиссным упрощением сложной структуры пу­стотного пространства пористой среды. В докладе представлено дальнейшее развитие подхода к обос­нованию фильтрационных параметров на масшта­бе пластовых систем, который представлен в ста­тье [4] и позволяет решать указанные выше пробле­мы поромасштабного моделирования. Данный под­ход имеет следующие ключевые преимущества:

- Количество уравнений для моделей поровых се­тей на порядок меньше в сравнении с подхода­ми прямого моделирования многофазной филь­трации в сеточных моделях образца кер­на.
- Небольшое число параметров, задающих модель пористой среды с точки зрения различных про­цессов, что дает возможность эффективного сто­хастического построения таких моделей и реше­ния обратных задач для них.
- Ремасштабирование полученных с помощью мо­делей поровых сетей результатов через исследо­вание корреляции с данными большего масштаба.

Исследование выполнено при финансовой поддерж­ке РФФИ (грант № 18-31-00436).

Список литературы

- [1] ШАБАРОВ А. Б., ШАТАЛОВ А. В., МАРКОВ П. В., ШАТАЛОВА Н. В. Методы определения функций от­носительной фазовой проницаемости в задачах мно­гофазной фильтрации // Вестник Тюменского госу­дарственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2018. Т. 4. № 1. С. 79–109.
- [2] XIONG Q., BAYCHEV T., JIVKOV A. Review of pore network modelling of porous media: Experimental characterisations, network constructions and applications to reactive transport // Journal of Contaminant Hydrology. 2016. Vol. 192. P. 101–117.
- [3] SHANDRYGIN A. Digital Core Analysis for Flow Process Evaluation Is Myth or Reality? // Proc. Intern. Conf. «SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical Conference and Exhibition». Moscow: SPE, 2014. Document ID SPE-171216-RU.
- [4] МАРКОВ П. В., РОДИОНОВ С. П. Использование мо­делей микроструктуры пористой среды при расче­те фильтрационных характеристик для гидродина­мических моделей // Нефтепромысловое дело. 2015. № 11. С. 64–75.

2.43. Мередова М.Б. Численное моделирова­ние частичного разряда в гелиевом пузырьке

В изоляции высоковольтного оборудования при экс­плуатации со временем возникают газовые полости. В этих полостях под действием высокого напря­жения могут формироваться электронные лавины, в результате чего газ в полости ионизируется, и в по­лости происходит частичный разряд (ЧР) в течение

короткого времени ~ 10 нс. С одной стороны, развитие активности ЧР может приводить к пробое изоляции и, как следствие, выходу оборудования из строя. С другой стороны, регистрация ЧР считается одним из самых эффективных способов исследования состояния изоляции в высоковольтном оборудовании. Для понимания физики ЧР в диэлектрической изоляции необходимо исследование развития лавин и стримеров в газовых полостях.

В данной работе смоделировано развитие под действием внешнего поля электронных лавин в эллиптической газовой полости, заполненной гелием. Использовалась диффузионно-дрейфовая модель для описания процессов развития разряда в полости. Для расчета электрических полей и динамики зарядов при ЧР создана компьютерная программа с применением технологии параллельного программирования CUDA для графических устройств. Промежуток между плоскими электродами считался заполненным диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2.2$ (трансформаторное масло). Эллиптическое включение с $\varepsilon = 1$, имитирующее газовую полость, помещалось на оси симметрии промежутка. Задача решалась в плоской постановке. Расчет электрического поля выполнялся с помощью уравнения Пуассона со значениями потенциала $\varphi = 0$ на нижнем электроде и $\varphi = U_0$ на верхнем электроде. Решались уравнения переноса для электронов и положительных ионов с учетом источников зарядов (ударная ионизация, рекомбинация и диффузия). Исследовались распределение концентраций заряженных частиц в пузырьке и напряженность электрического поля. Показано, что в полости достаточно большого размера ($\sim 1\text{--}2$ мм) развитие электронной лавины приводит к формированию стримера. Полученные результаты необходимы для лучшего понимания физики ЧР в диэлектрической изоляции.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 16-19-10229).

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Карпов Д. И.

2.44. Михеев И.А., Маматюков М.Ю. Гемодинамика головного мозга: расчет кровотока в сосудах головного мозга с аневризмой

Кровеносная система головного мозга является важным объектом исследования современной биомеханики. Как и во многих биологических системах, порой в ней присутствуют аномалии, которые при определенных условиях могут быть причиной летального исхода или инвалидизации человека. В данной работе исследуется система сосудов с такой аномалией, как церебральная аневризма (локальное выпячивание стенки артерии). Цель проводимой работы — оценить влияние церебральных аневризм на перераспределение кровотока в сосудах головного мозга. Для выполнения численных расчетов потока крови реконструируется трехмер-

ная модель сосудов головного мозга по данным ротационной 3D ангиографии. Затем производится численный расчет с использованием коммерческого пакета ANSYS CFX. На данном этапе рассматривается стационарный поток крови, стенки принимаются жесткими. В качестве начальных условий задается массовый расход на внутренних сонных и/или позвоночных артериях, значение которого соответствует средним значениям, представленным в [1]. На выходах задается давление таким образом, чтобы обеспечить физиологически приемлемые скорости во всех участках кровотока. Проведено сравнение полученных результатов массового расхода крови через сосуды Вилизиевого круга и вертебрабазиллярного бассейна с данными, представленными в [1]. В дальнейшем планируется выполнить нестационарный расчет потока с использованием данных полученных в ходе интраоперационного мониторинга гемодинамических параметров. Данные снимаются с использованием комплекса ComboMap — ComboWire. Полученные результаты позволяют на более глубоком уровне понимать влияние различных аневризм на перераспределение кровотока в церебральных сосудах и позволят принимать более адекватные врачебные решения при лечении церебральных аневризм.

Научный руководитель — д.ф.-м.н., Чупахин А. П.

Список литературы

- [1] ZARRINKOOB L., AMBARKI K., WANLIN A ET AL. Blood flow distribution in cerebral arteries // Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism. 2015. N. 35 (4). P. 648–654.

2.45. Моисейченко В.А., Калинин Е.С., Загарских С.А. Применение компьютерного моделирования для решения задач безопасной эвакуации людей со стадиона при чрезвычайной ситуации

В работе исследовано обеспечение безопасной эвакуации на спортивном объекте с массовым пребыванием людей (стадион). В задачах безопасности применение имитационного моделирования является единственным средством проиграть опасные ситуации и минимизировать вероятность их возникновения и/или устранить вовсе, выработать меры по снижению их последствий без причинения вреда здоровью людей и повреждения объектов инфраструктуры. Это тем более актуально для объектов массового пребывания, где обучающие действия с посетителями невозможны. Кроме того, спортивные объекты имеют свою специфику — большое количество людей находится на ограниченном трибунном пространстве, которое зачастую имеет отсекки, разделяющие трибуну на сектора. Таким образом, соотнесены потребности практических задач с возможностями математического (компьютерного) моделирования.

С помощью гидродинамической модели [1] спрогнозировано распространение опасных факторов пожара для различных сценариев возникновения ЧС, также применялась индивидуально поточная модель [2] для моделирования эвакуации людей.

В ходе исследования с помощью компьютерного моделирования был изучен спортивный объект на предмет его слабых мест, определены пути безопасной эвакуации людей для того или иного сценария возникновения ЧС, установлена максимально возможная задержка начала эвакуации. В результате анализа полученных данных разработаны меры по снижению рисков и разработаны инструкции для персонала объекта.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Кирик Е. С.

Список литературы

- [1] Литвинцев К. Ю., Кирик Е. С., Дектерёв А. А., и др. Расчетно-аналитический комплекс «Сигма ПБ» по моделированию развития пожара и эвакуации // Пожарная безопасность. 2016. № 4. С. 51–59.
- [2] KIRIK E., MALYSHEV A., SENASHOVA M. On the evacuation module sigmaeva based on a discrete — continuous pedestrian dynamics model // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2016. Vol. 9574. P. 539–549.

2.46. Мукатова Ж.С., Пененко А.В. Идентификация источников в моделях адвекции-диффузии-реакции алгоритмом на основе ансамблей сопряжённых функций

Рассмотрены обратные задачи идентификации источников для нелинейных моделей адвекции — диффузии — реакции с данными измерений типа изображений. Такие обратные задачи возникают, например, при исследовании состава атмосферы, когда данные измерений доступны в виде спутниковых изображений полей концентрации, а также в обратных задачах теории морфогенеза, когда параметры моделей диффузии-реакции морфогенов требуется подобрать по снимкам с микроскопа. Использование операторов чувствительности, построенных из множества решений сопряженных задач, позволяет преобразовать обратную задачу, сформулированную в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, в семейство операторных уравнений, зависящих от набора функций проектирования в пространстве результатов измерений [1,2]. Размерность задачи может быть уменьшена за счет адаптивного выбора функций проектирования, что позволяет обеспечить эффективное решение полученного операторного уравнения соответствующими методами для нелинейных некорректных операторных уравнений. Операторная форма обратной задачи может быть использована для анализа и сравнения различных постановок обратной задачи, например, с помощью спектральных методов. Для численного ре-

шения применяются дискретно-аналитические схемы процессов переноса и трансформации примесей. Схемы построены с использованием локально-сопряженных задач [2]. Многомерные задачи рассматриваются в соответствии с методом расщепления относительно пространственных измерений и физических процессов. Точность расчета оператора чувствительности обеспечивается согласованностью численных схем для прямых и сопряженных задач в смысле тождеств типа Лагранжа [3]. Эффективность алгоритма изучается численно. Вычисления выполнены на мощностях Сибирского суперкомпьютерного центра.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 17-71-10184).

Список литературы

- [1] Пененко А. В., Николаев С. В., Голушко С. К. и др. Численные алгоритмы идентификации коэффициента диффузии в задачах тканевой инженерии // Матем. биология и биоинформ. 2016. С. 426–444.
- [2] Пененко, А. Согласованные численные схемы для решения нелинейных обратных задач идентификации источников градиентными алгоритмами и методами Ньютона — Канторовича // Сиб. журн. вычисл. матем. 2018. Т. 21. С. 99–116.
- [3] PENENKO A., PENENKO V., TSVETOVA E. ET AL. Sequential Variational Data Assimilation Algorithms at the Splitting Stages of a Numerical Atmospheric Chemistry Model // Large-Scale Scientific Computing, Springer International Publishing. 2018. P. 536–543.

2.47. Немыкина А.А. Моделирование двухфазных электрогидродинамических течений

Электрогидродинамические течения имеют широкое применение, их изучение открывает большие перспективы для развития техники. Однако в силу сложности самих явлений и нелинейности уравнений существуют проблемы, связанные с интерпретацией электрогидродинамических эффектов. В связи с этим, численное моделирование является наиболее эффективным способом исследования подобных явлений.

В данной работе для исследования многофазных течений применялся метод решеточных уравнений Больцмана, основанный на решении кинетического уравнения для ансамбля «псевдочасти». В качестве переменных в методе используются функции распределения $N_k(\mathbf{x}, t)$. Уравнение эволюции имеет вид:

$$N_k(\mathbf{x} + \mathbf{c}_k \Delta t, t + \Delta t) = N_k(\mathbf{x}, t) + \Omega_k(\mathbf{x}, t) + \Delta N_k(\mathbf{x}, t),$$

где $\Omega_k(\mathbf{x}, t)$ — оператор столкновений. Электрический потенциал рассчитывался согласно уравнению Лапласа. Объемная сила, действующая на заряженную диэлектрическую жидкость в электрическом

поле, выражается формулой (сила Гельмгольца):

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} - \frac{E^2}{8\pi}\nabla\epsilon + \frac{1}{8\pi}\nabla\left[E^2\rho\left(\frac{\partial\epsilon}{\partial\rho}\right)_T\right].$$

При помощи данного метода исследовалась динамика парового и газового пузырька, изначально существующих в диэлектрической жидкости, помещенной в электрическое поле. Были реализованы различные постановки задачи: как в периодических граничных условиях, так и между жестких стенок. Также был произведен расчет коэффициента поверхностного натяжения для пузырька, заполненного газом.

Таким образом, удалось применить метод решеточных уравнений Больцмана для описания течений с фазовыми переходами в электрическом поле. Этот метод имеет широкое применение для моделирования множества процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 16-19-10229).

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Медведев Д. А.

2.48. Новиков А. О. Двухуровневые стохастические модели планирования инвестиционных проектов в области ритейла

Ритейл является одной из крупнейших отраслей инвестиций в России. Существуют различные математические описания развития проектов из данной области. Ранее в [1] были изложены модель развития ресурсного региона, основанная на принципах государственно-частного партнерства и соответствующая ей задача линейного стохастического программирования, в которой предполагалось, что ограничения на бюджет в модели из [2] могут случайным образом варьироваться в заданном интервале, а также методы решения подобных задач.

В докладе будут представлены новые модели планирования инвестиционных проектов в области продуктового ритейла, связанные с распределением заказов и проведением промо активности в торговой сети. Данные модели также основаны на задачах линейного стохастического программирования, причем размерность таких задач существенно больше, чем размерность задач, приведенных в [1]. Стохастические параметры (например, спрос) варьируются в зависимости от поведения рынка. Для решения данной задачи предлагается подход, основанный на ее редукции к детерминированной задаче. Для численной проверки алгоритмов решения этих задач использовались реальные данные о транзакциях компании ООО «Холидей».

Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ (грант № 16-02-00049) и РФФИ (гранты № 16-06-00046, № 16-06-00101 и № 16-016-00108).

Научный руководитель — к.т.н. Анцыз С. М.

Список литературы

- [1] Новиков А. О. Об одном подходе к формированию программы развития региона, учитывающей волатильность бюджета // Труды 12-й Международной Азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем». Новосибирск: Издательство ИВМиМГ СО РАН, 2016. С. 447–451.
- [2] Анцыз С. М., Калгина Е. С., Лавлинский С. М. Формирование программы развития ресурсного региона: некоторые подходы // Вестник ЗабГУ. 2013. № 11 (102). С. 118–124.

2.49. Окладников Ф. А. Математическое моделирование динамики частиц в газовой среде

При численном моделировании динамики околозвездных дисков лагранжевыми методами возникает задача расчета траекторий твердых частиц, которые двигаются по орбите вокруг центрального тела под действием гравитационной силы и трения о газ. В околозвездных дисках характерный размер пыли меняется на порядки — от 1 мкм до нескольких сантиметров. Поэтому в них реализуется 4 различных режима трения [1, 2]. В первых двух из них сила трения линейно зависит от относительной скорости между газом и телами, а еще в двух — зависимость квадратичная и степенная.

В данной работе исследовался вопрос о применении разностных схем для решения и исследования жесткой системы описывающей движение частицы по орбите под действием силы трения о газ и притяжения центральной звезды.

В работе сравнивались явные схемы Эйлера первого порядка и Рунге — Кутты четвертого порядка, а так же полуневявная схема первого порядка. Было показано, что схемы работают корректно и совпадают с аналитическим решением, порядок методов совпадает с заявленным.

В результате было установлено, что наиболее подходящей схемой для данной задачи является полуневявная схема первого порядка. С помощью полуневявной схемы было проведено исследование зависимости хаотической скорости пыли под влиянием силы трения.

Для вычисления силы трения в разных режимах предложен универсальный алгоритм. В этом алгоритме время остановки (скоростной релаксации), рассчитывается по значениям величин для газа и пыли с предыдущего временного слоя, а относительные скорости берутся со следующего. Получающаяся полуневявная схема первого порядка протестирована на задаче расчета траектории, в которой частица переходит из режима Эпштейна в режим Стокса.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Стояновская О. П.

Список литературы

- [1] WEIDENSCHILLING S.J. Aerodynamics of solid bodies in the solar nebula // MNRAS. 1977. Vol. 180. P. 57–70.
- [2] RICE W.K.M., LODATO G., PRINGLE J.E., ET AL. Accelerated planetesimal growth in self — gravitating protoplanetary discs // MNRAS. 2004. Vol. 355. P. 543–552.

2.50. Палагина А.А. Влияние подводного оползня на величины заплесков на берег одиночной волны цунами

Такие геофизические события как: землетрясение, сход подводного оползня, извержения вулкана — порождают последовательные волны цунами, которые всенаправленно распространяются, сохраняя чрезвычайно большую длину волны. Чтобы уметь предсказывать появление волн цунами, мы должны понять, как небольшие поверхностные возмущения эволюционируют в волны с большой амплитудой.

В настоящей работе применяется модель потенциальных течений, учитывающая вертикальные перемещения воды, а для описания движения оползня по неровному подводному склону используется модель квазидеформируемого тела, движущегося благодаря действию на него сил тяжести, трения, сопротивления воды и выталкивающей силы.

Предложены новые неотражающие условия, позволяющие избежать появления волн отрицательной полярности в расчетной области.

Исследовано несколько начальных положений оползня на разной глубине реального рельефа, имеющего участки с различной кривизной. Выявлены особенности волновых полей в зависимости от начального заглубления оползня, его размеров и от коэффициента трения.

Проведены численные эксперименты по заплескам при движении подводного оползня по морскому склону и одиночной волны, приходящей с моря.

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Хакимзянов Г. С.

2.51. Паскарь С.Ю. Математическая модель аномальной диффузии идеального газа в неоднородных конденсированных средах с флуктуирующими свойствами

В данной работе для построения математической модели процесса аномальной диффузии рассмотрено прохождение идеального газа в неоднородной среде. Данный процесс описан известным уравнением Больцмана с флуктуирующими параметрами, следовательно, можно вывести приближённое уравнение для плотности газа, усреднённое по флуктуациям в среде.

Сформулированная задача основана на использовании параметра аномальной диффузии «полёта или прыжка» Леви [1], а также постоянной радиоактивного распада изотопа ^{222}Rn , с учётом флуктуиру-

ющих свойств [2] сложной среды (на примере слоистой геосреды). Введён новый физический параметр, характеризующий как свойства сложной среды [3], так и свойства количества внутренней энергии в газе. Основное уравнение для аномальной диффузии с учётом неустойчивости газа имеет вид:

$$\frac{\partial c}{\partial t} (L + \Psi(x, t)) - \frac{mg}{\gamma} \frac{\partial c}{\partial x} - \Lambda c = \frac{\theta}{\gamma} \frac{\partial^2 c}{\partial x^2},$$

где Λ — постоянная распада радона ^{222}Rn ; c — концентрация вещества; m — масса; g — ускорение свободного падения; $\gamma = 6\pi R\eta$ — коэффициент фактора формы при скорости безвихревого (свободного) движения частицы; η — коэффициент вязкости среды; R — радиус сферической частицы; $\theta = D\gamma$ — среднеквадратическая скорость частиц; D — коэффициент диффузии (из известного соотношения Эйнштейна). Так называемый шум Ψ является условным обозначением случайного (стохастического) процесса. Введённый нами параметр Леви L является характеристикой однородного процесса с автомодельным одномерным распределением [1]. Общее решение этой задачи с учётом заявленных выше условий имеет вид:

$$c(t, x) = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp \left\{ -\frac{\left[x - \left(x_0 - \frac{mg}{\gamma} t \right) \right]^2}{4Dt} \right\} \times \exp \left\{ \frac{\Lambda}{L + \Psi(t)} \right\},$$

где x_0 и x являются координатами частиц для времени $t = t_0$ и t соответственно.

Полученная математическая модель применима для сред, как с периодической структурой, так и для сред содержащих хаотически расположенные включения с рассмотрением её физических свойств. Проведён численный эксперимент, результаты моделирования показаны графически в сравнении с экспериментальными данными. Замечены интересные физические свойства аномальной диффузии, ранее не описанные в литературе. Данный факт требует дальнейшего серьёзного изучения этого процесса. Следующим этапом исследования будет получение аналитического выражения для постоянной релаксации распространения идеального газа в конденсированной неоднородной среде.

Список литературы

- [1] BOUCHAUD J. Anomalous diffusion in disordered media: statistical mechanisms, models and physical applications / Paris: North — Holland, 1989. 138 p.
- [2] СТЕПАНОВ А.В. К теории переноса нейтронов в неоднородных средах // Ядерная физика и взаимодействие частиц с веществом. 1969. Т. 44. С. 204–256.
- [3] ПАСКАРЬ С.Ю. Обобщённая математическая модель Огильви переноса радона в двухслойной геосреде с фрактальными свойствами // Научно — технический вестник Поволжья. 2016. № 1. С. 84–87.

- [4] Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Т.3: Теория неравновесных систем / Москва: УРСС, 2003. 111 с.

2.52. Писарев А.В., Квашнин А.Г., Шакиров С.Р. Математическое моделирование работы нейро-нечеткого регулятора тепловой нагрузки установки переработки органических отходов

В работе рассматривается одна из проблем создания автоматизированных систем управления энергетическими комплексами, которые позволили бы перейти к широкомасштабному внедрению технологии для переработки огромных количеств энергетической биомассы и предлагается способ её решения. Проблема заключается в выборе алгоритма управления тепловой нагрузкой установки, т. к. существенно изменяющиеся свойства сырья приводят к изменению динамики протекания термохимических процессов, возникновению и накоплению ошибок управления, возможной неустойчивости технологических процессов, протекающих в установке. Классические регуляторы применяются для этой задачи не могут, т. к. требуют постоянной корректировки параметров настройки [1]. Для сохранения заданного качества процесса управления объектом регулирования, структура и динамика которого претерпевает существенные изменения, необходимо производить адаптацию алгоритма управления [1]. Для управления тепловой нагрузкой камеры сжигания в качестве адаптивного регулятора предлагается использовать регулятор с инверсной моделью [2]. В режиме реального времени выполняется идентификация динамических характеристик объекта регулирования. Инверсная нечеткая модель объекта регулирования определяется непосредственно по инвертированному выходному сигналу объекта регулирования. Для определения модели в нейро – нечетком блоке адаптации использована ANFIS (Adaptive – Network – Based Fuzzy Inference System) – адаптивная сеть нечеткого вывода, реализующая нечёткую систему Такаги – Сугено и представляющая собой пятислойную нейронную сеть прямого распространения сигнала. В ANFIS в качестве алгоритма обучения используется градиентный метод, основанный на минимизации среднего квадратического отклонения текущего значения, полученного на выходе нейронной сети [3]. В качестве пре-регулятора [2] в корректирующем устройстве автоматического регулятора тепловой нагрузки установки рассматривались: И-регулятор, ПИД-регулятор, регулятор с опережением по фазе [4]. По результатам моделирования определено, что использование ПИД-регулятора в качестве пре-регулятора является наиболее эффективным с точки зрения качества переходных процессов. Выполнено моделирование работы автоматического регулятора тепловой нагрузки уста-

новки для всего диапазона динамических характеристик объекта регулирования. В замкнутом контуре системы регулирования получены устойчивые переходные процессы с заданными показателями качества.

Список литературы

- [1] Вильчек С. Ю., Квашнин А. Г., Сафронов А. В., Сторожев Ф. Н. Проблемы создания адаптивной системы управления энергетическим комплексом по переработке углеродосодержащих отходов // «Индустриальные информационные системы» — ИИС — 2015. Всероссийская конференция с международным участием: Сборник тезисов докладов. Новосибирск, КТИ ВТ СО РАН. 2015. С. 15–16.
- [2] ПЕГАТ А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ. — 2-е изд. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.
- [3] ЛЕОНЕНКОВ А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / СПб: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
- [4] ФИЛИПС Ч., ХАРВОР Р. Системы управления с обратной связью / М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. 616 с.

2.53. Писарев А.В., Квашнин А.Г., Шакиров С.Р. Математическое моделирование работы газозоо-воздушного тракта установки переработки органических отходов

В ИВТ СО РАН ведутся работы по автоматизации опытно-промышленного образца установки для переработки органических отходов. Установка производит тепловую энергию и энергоносители (твердые — биоуголь, жидкие — бионефть и газообразные — синтез-газ), например, из биомассы с различными химическими составом, физическими свойствами. Оборудование может перерабатывать «сложные» виды отходов — высоковлажные и высокосолистые. При испытаниях опытно-промышленного образца установки выявлена сложность стабилизации параметров технологических процессов и обеспечения стабильности функционирования комплекса в целом [1]. При разработке системы автоматического регулирования технологических параметров газозоо-воздушного тракта (ГВТ) опытно-промышленного образца установки использована математическая модель [2], которая описывает динамические характеристики газового и зоо-воздушного трактов для разных нагрузок и различных режимов работы установки. При автоматизации технологически сложных реальных объектов автоматического управления, в условиях отсутствия, неопределенности или неточности априорной информации об объекте, когда система функционирует в условиях возникновения различных неопределенных внешних и внутренних ситуаций, возмущающих воздействий используется робастный метод управления [3]. В качестве корректирующих устройств для стабилизации давления в нижней части и разрежения в верхней части камеры сжи-

гания выбраны ПИД-регуляторы, параметры настройки которых определены методом, представленным в [4]. Выполнено моделирование работы регуляторов разрежения и общего воздуха ГВТ установки переработки органических отходов. По результатам математического моделирования показана работоспособность регуляторов давления в нижней части и разрежения в верхней части камеры сжигания во всех режимах работы установки и робастность синтезированных корректирующих устройств.

Список литературы

- [1] Вильчек С. Ю., Квашнин А. Г., Сафронов А. В., Сторожев Ф. Н. Проблемы создания адаптивной системы управления энергетическим комплексом по переработке углеродосодержащих отходов // «Индустриальные информационные системы» — ИИС — 2015. Всероссийская конференция с международным участием: Сборник тезисов докладов. Новосибирск, КТИ ВТ СО РАН. 2015. С. 15–16.
- [2] Квашнин А. Г., Писарев А. В., Шакиров С. Р. Разработка математической модели газовоздушного тракта установки утилизации органических отходов // Наука. Технологии. Инновации. Сборник научных трудов. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2016. Ч. 1. С. 46–48.
- [3] Поляк Т. Б. Робастная устойчивость и управление / М.: Наука, 2002. 303 с.
- [4] Ким Д. П. Системы управления с обратной связью / М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. 164 с.

2.54. Радченко П.А., Батыев С.П., Радченко А.В., Васильев Д.А. Математическое моделирование поведения конструкций при динамических нагрузках с использованием алгоритма эрозионного разрушения

Актуальной проблемой численного моделирования высокоскоростного взаимодействия твердых тел является интенсивное разрушение материала в области контактных границ. Разрушенные элементы материала не способны сопротивляться внешним воздействиям и вследствие этого возникают сильные искажения расчетной сетки. Поэтому для устойчивого счета необходимо удалять разрушенные конечные элементы из расчетной сетки. Реализация алгоритма эрозии начинается при выполнении критерия разрушения в конечном элементе, находящемся на контактной поверхности. В алгоритме эрозии происходит удаление элемента из расчетной сетки и образование новых поверхностных треугольников из граней элементов, которые были смежными разрушенному. В случае, если один или несколько узлов разрушенного элемента больше не принадлежат другим элементам, полагаем, что узел тоже разрушен и его массу необходимо перераспределить. В докладе представлены результаты применения различных подходов к моделированию разрушения контактных поверхностей при высокоскоростном взаимодействии твердых тел. Выделено три ос-

новных метода эрозии, которые различаются алгоритмами распределения массы после разрушения элементов на контактных границах. Проведено сравнение всех трех алгоритмов с экспериментальными данными, полученными «КБМ машиностроения», г. Коломна. Для расчетов использовался авторский вычислительный комплекс EFES. Моделирование проводилось в полной трехмерной постановке. Произведено сравнение полученных результатов между алгоритмами и с экспериментом.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 18-48-700035 и № 18-41-703003).

2.55. Распутина Т.Б. Моделирование профилей воронок, образующихся в твердых материалах при воздействии ударными нагрузками

Разработана программа численного моделирования профилей воронок, возникающих при ударном разрушении горного массива инструментом-клином, на основе метода граничных элементов [1, 2]. Программа позволяет итерационно по заданным значениям потенциала на поверхности импульсного источника выполнять подвижку границы, моделирующей форму воронки.

Верификация разработанного алгоритма подбора неизвестной границы воронки была проведена на результатах стендовых испытаний разрушения мраморного образца при воздействии на него системой «боек-инструмент» [3]. Для имитации системы «боек-инструмент» использовался маятниковый копер. Экспериментально было исследовано влияние геометрических и динамических (соотношений масс бойка, инструмента и энергии удара) параметров ударной системы, кратности воздействия на разрушение горной породы.

Для улучшения соответствия расчетной формы воронки с экспериментальной программа дополнена методами построения криволинейной границы поверхности породы в области контакта с инструментом, а также методами сглаживания подбираемой границы искомой воронки.

Список литературы

- [1] SHER E. N., GORODILOV L. V., CHERNIKOV A. G. Loosening cone of an annular blasthole charge in soft ground // Journal of Mining Science. 1997. Vol. 33. N. 5. P. 422–426.
- [2] Городилов Л. В., Распутина Т. Б. Расчет воронок рыхления при ударном разрушении горного массива в импульсно-гидродинамической постановке // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2017. Т. 4. № 2. С. 239–243.
- [3] Городилов Л. В., Ефимов В. П., Кудрявцев В. Г. Экспериментальное исследование разрушения мраморного блока при взаимодействии с ударной системой «боек-инструмент» // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2016. Т. 2. № 3. С. 44–50.

2.56. Русскова Т.В. Моделирование переноса поляризованного излучения в облачной атмосфере над анизотропной поверхностью на графических ускорителях

Высокая вычислительная трудоемкость метода Монте — Карло при решении задач атмосферной оптики в некоторых условиях численного эксперимента ограничивает его использование в случаях, требующих оперативных решений. В частности, численное моделирование переноса солнечного излучения в облачной среде с приемлемой точностью в том или ином диапазоне изменения входных параметров приводит к многочасовым расчетам при его традиционной последовательной программной реализации. Учет анизотропного отражения излучения от подстилающей поверхности вносит весомый вклад в увеличение продолжительности вычислений. Развитие технологий параллельного программирования способствует созданию вычислительных алгоритмов, ориентированных на многопроцессорные системы, и снижению времени расчетов почти пропорционально количеству одновременно функционирующих вычислительных единиц. Новая технология CUDA (Compute Unified Device Architecture) на базе графических ускорителей GPU (Graphics Processing Unit) позволяет перейти на качественно новый уровень расчетов и существенно повысить их производительность, не прибегая к использованию дорогостоящего оборудования, а также параметризаций, снижающих точность решения. В работе обсуждаются новые параллельные алгоритмы моделирования переноса поляризованного излучения в облачной атмосфере над анизотропной поверхностью, разработанные с использованием технологии CUDA в целях минимизации временных затрат и приведения расчетных программ в соответствие с современными требованиями, предъявляемыми к скорости вычислений. На численных экспериментах с различными оптическими характеристиками среды, условиями наблюдения и освещения демонстрируются ускорения, достигнутые в GPU-расчетах относительно однопоточных CPU-реализаций соответствующих алгоритмов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-31-60057-мол_а_дж).

2.57. Рыбков М.В. Алгоритм переменного порядка на основе явных методов

При численном решении жестких задач широко применяются явные методы [1]. Это связано с тем, что при применении L -устойчивых методов возникает проблема с обращением матрицы Якоби. В случае большой размерности системы дифференциальных уравнений время декомпозиции данной матрицы фактически определяет общие вычислительные затраты. В то же время явные методы не нуждаются в вычислении матрицы Якоби и, если жест-

кость задачи не слишком велика, то они будут предпочтительнее. В настоящее время применяются алгоритмы переменного порядка и шага, что приводит к существенному повышению эффективности расчетов. При этом метод низкого порядка используется на участке установления, где производные малы и за счет большей области устойчивости метода можно добиться повышения эффективности алгоритма интегрирования. Применение алгоритмов с возможностью переключения между методами позволяют эффективно производить расчет систем большой размерности, которые часто возникают в задачах химической кинетики, механике, теории электрических цепей.

В [2] построены методы Рунге — Кутты первого порядка точности с согласованными областями устойчивости. Показано, что согласование численных схем приводит к примерно 30 процентному повышению эффективности алгоритма интегрирования и обеспечивает более оправданное поведение шага на участке установления. На основе этих методов создан алгоритм интегрирования с переменным числом стадий для решения умеренно жестких задач.

Здесь построен алгоритм интегрирования переменного порядка, шага и числа стадий на основе явных методов с согласованными областями устойчивости. Приведены неравенства для контроля точности вычислений и устойчивости численной схемы. В этом случае повышение эффективности достигается не только за счет переключения с метода высокого порядка на метод низкого порядка на участке установления, но и за счет «разгона» шага на этом участке путем применения набора методов первого порядка с согласованными областями устойчивости. *Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-31-00375).*

Список литературы

- [1] Новиков Е. А. Явные методы для жестких систем: монография / Новосибирск: Наука, 1997. 195 с.
- [2] RYBKOV M. V., NOVIKOV A. E., KNAUB L. V., LITVINOV P. S. Solving Problems of Moderate Stiffness Using Methods of the First Order with Conformed Stability Domains // Университетский научный журнал. 2016. № 22. С. 49–58.

2.58. Рыльцев И.А. Стационарное течение неньютоновской жидкости в канале с затвором

Широкое распространение вязких течений в природе и технических приложениях обуславливает актуальность их экспериментального и численного исследования.

В работе осуществляется численное моделирование стационарного течения неньютоновской жидкости в канале с шаровым затвором. Область течения представляет собой плоский канал переменного сечения. Частичное перекрытие затвора моде-

лируется введением перегородки нулевой толщины. Математическая постановка задачи формулируется в переменных вихрь — функция тока. Для описания реологического поведения жидкости используется степенная модель Оствальда — де Вилия. На входе в канал задается профиль скорости, соответствующий установившемуся течению степенной жидкости в плоском канале с постоянным расходом. На твердой стенке выполняются условия прилипания, на выходе задаются мягкие граничные условия. Для реализации численного алгоритма используется преобразование координат, при котором криволинейная область решения преобразуется в прямоугольную. Решение задачи осуществляется итерационным методом Гаусса — Зейделя. Степенное уравнение для случая псевдопластичной жидкости имеет особенность «бесконечной» вязкости при нулевых значениях интенсивности тензора скоростей деформаций. С целью устранения особенности используется регуляризация реологического уравнения.

В результате выполненной работы получены картины стационарного течения жидкости, которые характеризуются наличием зоны двумерного течения в окрестности затвора и зон одномерного течения вне его. Продемонстрировано влияние значений определяющих параметров задачи на структуру потока в зависимости от степени перекрытия канала. *Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (грант № 18-19-00021).*

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шрагер Г.Р.

2.59. Рыльцева К.Е. Численное моделирование неізотермического течения степенной жидкости в канале со скачком сечения

Во многих отраслях промышленности транспорт жидких сред является неотъемлемой частью технологического процесса. Течения реализуются в массопроводах различной конфигурации, которые могут содержать сложные конструктивные элементы, формирующие скачок сечения. Подобные геометрические особенности оказывают влияние на структуру течения, которую необходимо учитывать при организации производства.

В данной работе проводится исследование ламинарного стационарного неізотермического течения степенной жидкости в канале со скачком сечения. Система основных уравнений включает уравнения движения, теплопроводности, неразрывности, записанные в цилиндрической системе координат с использованием переменных функция тока — вихрь и температура. Реологические свойства жидкой среды описываются степенным законом Оствальда — де Вилия, в котором учитывается зависимость эффективной вязкости жидкости от температуры. Для задания граничных условий на входе в канал рассчитываются профили скорости и температуры, соответствующие одномерному установивше-

муся неізотермическому течению с заданным расходом в бесконечном канале. Полученный профиль аксиальной скорости используется для расчета граничных значений функции тока и вихря. На твердой неподвижной стенке реализуются условия прилипания, температура считается заданной. На оси канала выполняется условие симметрии. На выходе используются мягкие граничные условия.

Стационарное решение задачи получено численно методом установления с использованием разностной схемы продольно — поперечной прогонки. Ввиду особенностей структуры течения, для обеспечения сходимости расчетного метода в широком диапазоне изменения степени нелинейности жидкости выполнена регуляризация реологического уравнения.

В результате расчетов восстановлена картина течения, которая позволяет выполнить количественный анализ структуры потока, а именно оценить длины зон двумерного течения, формируемых в окрестности скачка сечения. Определены местные гидравлические сопротивления в зависимости от основных параметров задачи. Выполнена оценка влияния учета вязкой диссипации на кинематические характеристики потока. Показаны поля температуры и эффективной вязкости, характерные для псевдопластичной, ньютоновской и дилатантной жидкостей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (грант № 18-19-00021).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шрагер Г.Р.

2.60. Саенко А.В., Мамокоев С.П., Клунникова Ю.В. Физико-топологическая модель перовскитового солнечного элемента

В последнее время активно растет количество теоретических работ [1, 2] в области моделирования перовскитовых солнечных элементов, которые сводятся к поиску фундаментальных основ описания их фотоэлектрических характеристик с помощью использования, в основном, различных стандартных программ для моделирования полупроводниковых устройств, таких как AMPS-1D, SCAPS, COMSOL. Данные программы не позволяют в полной мере описать механизмы работы и исследовать процессы поглощения солнечного излучения и переноса носителей заряда в гетероструктурах, а также дальнейшее исследование влияния электрофизических и конструктивно-технологических параметров на фотоэлектрические характеристики перовскитовых солнечных элементов. Это обуславливает актуальность физико-топологического моделирования, которое позволит исследовать различные процессы, протекающие в перовскитовых солнечных элементах в рамках диффузионно-дрейфового приближения. Предложенная физико-топологическая модель перовскитового солнечного элемента основана на стационарной диффузионно-дрейфовой системе уравнений полупроводника [3], в которую входят уравнения непрерывности для определения concentra-

ций носителей зарядов (электронов и дырок), отражающие закон сохранения числа частиц в гетероструктуре, и уравнение Пуассона для установления связи между параметрами электрического поля и концентрациями электронов, дырок и ионизированной примеси. Модель генерации носителей заряда в спектральном диапазоне поглощения перовскита основана на физическом законе Бугера — Ламберта — Бера и аппроксимации солнечного спектра AM1.5 спектром теплового излучения абсолютно черного тела при температуре 5780 K (использовалась стандартная величина интенсивности спектра AM1.5, равная 0.1 Вт/см² в диапазоне длин волн 100–2000 нм). Модель рекомбинации носителей заряда во всех материалах гетероструктуры описывалась в рамках теории Шокли — Рида — Холла (рекомбинация через ловушки-дефекты кристаллической решетки).

Исследовано влияние толщины пленки перовскита, а также его качество (концентрация дефектов) на эффективность данных солнечных элементов. Установлено, что максимальная эффективность оптимизированной конструкции перовскитового солнечного элемента составляет порядка 27 % при толщине пленки перовскита 500–700 нм и концентрации дефектов в ней порядка 10¹² см⁻³. Наличие максимума связано с конкуренцией между зависимостями тока короткого замыкания и напряжения холостого хода от толщины. Уменьшение концентрации дефектов в перовските позволяет снизить скорость рекомбинации и увеличить напряжение холостого хода до 1.3 В.

Список литературы

- [1] ZHOU Y., GRAY-WEALE A. A numerical model for charge transport and energy conversion of perovskite solar cells // Phys. Chem. Chem. Phys. 2016. Vol. 18. P. 4476–4486.
- [2] MINEMOTO T., MURATA M. Device modeling of perovskite solar cells based on structural similarity with thin film inorganic semiconductor solar cells // J. of Appl. Phys. 2014. Vol. 116. P. 054505.
- [3] MALYUKOV S. P., SAYENKO A. V., RYNDIN E. A., KLUNNIKOVA Y. V. The Drift-Diffusion Simulation of P-I-N Heterojunction Perovskite Solar Cells // Proc. of the 2016 International Conference on «Physics, Mechanics of New Materials and Their Applications». 2017. Vol. 66. P. 419–425.

2.61. Саенко А.В., Малуков С.П., Клунникова Ю.В. Численная модель лазерного отжига пленки аморфного кремния

В последние годы постепенно возрастает интерес к использованию лазерного отжига для кристаллизации тонких аморфных полупроводниковых пленок на недорогих нетугоплавких подложках с целью улучшения их структурных, функциональных и электрофизических свойств, а также повышения эффективности солнечных элементов на их основе. Кристаллизация пленок аморфного кремния

(a-Si) с применением печных отжигов требует температур от 550 °C и выше и времени до десятков часов. Преимущество же поликристаллического Si (pc-Si) над a-Si очевидна — на порядки более высокая подвижность носителей заряда и более стабильные характеристики. В связи с этим одним из перспективных способов кристаллизации пленок a-Si на ТСО-стеклянных подложках является образование зародышей кристаллической фазы (нанокристаллов) импульсным лазерным излучением и их дальнейший рост в условиях твердофазной кристаллизации [1].

Для исследования влияния плотности энергии лазерного излучения на кристаллизацию пленки a-Si толщиной 1 мкм структуры солнечного элемента (необходимо получить пленку pc-Si толщиной 800 нм и a-Si толщиной 200 нм) разработана и представлена одномерная нестационарная численная модель отжига на основе уравнения теплопроводности [2]:

$$\rho_i c_i \frac{\partial T}{\partial t} - k_i \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = (1 - R) I_0(t) \alpha_i e^{(-\alpha_i x)},$$

где ρ_i — плотность; c_i — удельная теплоемкость; k_i — коэффициент теплопроводности; α_i — коэффициент поглощения слоев прекурсора a-Si, ZnO:Al и стекла; $I_0(t)$ — плотность мощности лазерного импульса во времени (Гауссов импульс); R — коэффициент отражения от поверхности облучаемого слоя.

Проведено сравнение распределений температуры в пленке a-Si для длин волн 532 нм и 1064 нм в процессе лазерного отжига. В случае длины волны 532 нм (плотность энергии 300 Дж/см²) получено сильное увеличение температуры поверхности пленки a-Si из-за высокого коэффициента поглощения (10⁵ см⁻¹). Температура на поверхности поднимается значительно выше точки кипения a-Si (2357 °C), тогда как распределение температуры с глубиной уменьшается достаточно быстро, достигая комнатной температуры на глубине порядка 500 нм. Данное распределение температуры приводит к поверхностной абляции 100–200 нм a-Si и создает тонкий слой pc-Si (температура кристаллизации a-Si 550 °C). В случае длины волны 1064 нм поглощение значительно слабее (10³ см⁻¹) и большая глубина проникновения лазерного излучения приводит к более равномерному распределению температуры по глубине. Поэтому для удовлетворения требований относительно большой глубины кристаллизации a-Si (800 нм) использование 1064 нм является оптимальным выбором. При этом плотность энергии лазерного излучения должна составлять 600–700 Дж/см², что соответствует температуре на поверхности a-Si до 1250 °C (температура плавления) и поддерживает температуру по глубине пленки (800 нм) выше 550 °C.

Список литературы

- [1] Володин В. А., Качко А. С. Кристаллизация пленок аморфного гидрогенизированного кремния с применением фемтосекундных лазерных импульсов // Физика и техника полупроводников. 2011. Т. 45. С. 268–273.
- [2] THEODORAKOS I., RAPTIS Y. S., VAMVAKAS V. ET AL. Laser annealing and simulation of amorphous silicon thin films for solar cell applications // Proc. SPIE. 2014. Vol. 8967. P. 1–11.

2.62. Салов Д.Д., Тугова Е.С., Бобков Е.А. Применение метода матричных пучков для оценки параметров векторных процессов в задаче оценки разности фаз и частоты сигналов с кориолисового расходомера

В нефтедобывающей промышленности одной из проблем является измерение расхода жидкости в трехфазной среде (нефть, вода и газ) и двухфазной среде (нефть и вода). Одним из способов решения данной проблемы является применение кориолисова расходомера. Массовый расход получают в массовом кориолисовом расходомере путем измерения разности фаз двух сигналов, снятых с колеблющихся изогнутых трубок. Плотность жидкости можно связать с частотой этих сигналов, поэтому частоту сигнала и разность фаз сигналов с массового кориолисового расходомера необходимо отслеживать с высокой точностью и с минимальной задержкой.

В докладе представлены результаты работы по применению модифицированного метода матричных пучков для векторных процессов [1] для оценки разности фаз и частоты двух сигналов с кориолисового расходомера. Произведен численный эксперимент на общепринятой модели сигналов с кориолисового расходомера [2]. Для сравнения был выбран метод преобразования Гильберта из-за простоты реализации и использования его в реальных кориолисовых расходомерах, а также классический метод матричных пучков, который применялся для решения этой же задачи [3]. По результатам моделирования оказалось, что модификация метода матричных пучков показывает лучшие показатели по среднеквадратичному отклонению, чем преобразование Гильберта и классический метод матричных пучков, что говорит о перспективности его применения для оценки параметров сигналов массового кориолисового расходомера.

Научный руководитель — к.т.н. Бушуев О. Ю.

Список литературы

- [1] Генри М. П., ИБРЯЕВА О. Л., Салов Д. Д. и др. Метод матричных пучков для оценки параметров векторных процессов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математическое моделирование и программирование». 2017. Т. 10. № 4. С. 92–105.
- [2] LI M., HENRY M. Signal Processing Methods for Coriolis Mass Flow Metering in Two-Phase

Flow Conditions // IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). 2016. Vol. 1. N. 1. P. 1–14.

- [3] IBRYAEVA O. L., SALOV D. D. Matrix pencil method for coriolis mass flow meter signal processing in two-phase flow conditions // IEEE International conference on Industrial Engineering (ICIE). 2017. P. 4.

2.63. Салтыков И. Численное моделирование размыва несвязного грунта на платформе OpenFOAM

Использование гравитационных нефтедобывающих платформ в прибрежных мелководных морских зонах в настоящее время является одним из актуальных способов добычи нефти. Изучение процессов размыва морского грунта вблизи оснований таких платформ и исследование проблем обеспечения их устойчивости представляет большой практический интерес. В последние годы активно проводятся различные исследования этих вопросов, как с помощью лабораторных и полунатурных физических экспериментов, так и с применением методов математического моделирования [1].

В работах [1] представлены результаты большого количества экспериментальных и численных исследований размыва несвязного грунта вблизи основания платформы «Приразломная», приведены сравнительные таблицы лабораторных и вычислительных экспериментов, проведен анализ влияния различных волновых режимов течения жидкости на процесс переноса частиц донного материала. В работе [2] исследовано влияние турбулентного режима течения жидкости на процесс размыва несвязного грунта.

В данных работах для численного расчета гидродинамических величин использовались построенные на основе конечно-разностных методиках модели [3], основным ограничением которых является фиксированная сетка узлов, построенная в начальный момент времени в условиях ровности дна. В настоящей работе продолжается развитие численных моделей для исследования размыва несвязного грунта с помощью применения деформируемой, согласованной с границей дна сетки узлов. Расчет потока жидкости осуществляется на CFD-платформе OpenFOAM [4], которая предоставляет богатые возможности численного моделирования различных ламинарных и турбулентных течений со свободной поверхностью. Численная модель размыва грунта [1, 2] интегрируется с OpenFOAM посредством написания специального класса, в котором на основании вычисленного профиля дна происходит реструктуризация конечно-объемной сетки узлов и ее передача на следующий временной шаг гидродинамического цикла. В работе были проведены тестовые расчеты плоской задачи о размыве несвязного грунта при обтекании потоком жидкости препятствия квадратного профиля. Резуль-

таты расчета демонстрируют принципиальное значение использования нестационарной сетки узлов и хорошо согласуются с известными численными экспериментами [5].

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

Список литературы

- [1] ZAKHAROV Y. N., NUDNER I. S., GAYDAROV N. A. ET.AL Numerical and Experimental Studies of Soil Scour near Foundations of Platforms // Advanced technologies of hydroacoustics and hydrophysic. 2014. P. 239–241.
- [2] ZAKHAROV Y. N., IVANOV K. S. Computational Investigation of Turbulent Flow Impact on Non-cohesive Soil Erosion near Foundations of Gravity Type Oil Platforms // Mathematical and information technologies (MIT). 2016. P. 524–534.
- [3] ЗАХАРОВ Ю. Н., ИВАНОВ К. С., ГЕЙДАРОВ Н. А. Программный комплекс для расчета размыва грунта при действии волн и течения для различных геологических условий (свидетельство № 2015612750) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2015.
- [4] Официальный сайт OpenFOAM. [Электронный ресурс]. URL: <https://openfoam.org/> (дата обращения 01.08.2018).
- [5] BRØRS B. Numerical modeling of flow and scour at pipelines // J. Hydraul. Eng. 1999. P. 511–523.

2.64. Сенотрусова С.Д. Математические модели динамики р53-сети

Белок р53 играет одну из ключевых ролей в механизмах клеточных делений и клеточной смерти. Нарушение в этих процессах может быть причиной развития целого ряда серьезных заболеваний: рака, болезни Альцгеймера, Паркинсона. Последние биологические исследования показали, что в регуляции активности белка р53 участвуют различные белки и микроРНК, многие из которых взаимодействуют с р53 по принципу отрицательной или положительной обратной связи. Специалисты полагают, что данная избыточность может быть связана с оптимальностью работы программы определения судьбы клетки в разных видах тканях, на разном этапе развития или в зависимости от силы повреждения ДНК. Таким образом, раскрытие механизмов регулирования в р53-сети может быть использовано как для разработки новых подходов к лечению онкологических заболеваний, так и для определения стратегии профилактики многих заболеваний, включая меры по замедлению процессов старения. Однако роли участников рассматриваемой системы белков до конца не изучены и требуют подробного исследования, в том числе средствами математического моделирования.

В данной работе разработана и изучена иерархия минимальных математических моделей динамики р53-сети, включающей в себя белки и микроРНК. Использование параметров запаздывания в уравнениях позволило рассматривать только ос-

новных участников р53-сети, без детализации процесса. Принятые математические модели описывают функционирование р53-сети в нормальных условиях и прогнозируют возможные опасные ситуации для организма. Изучены стрессовые ситуации, связанные с возникновением дисбаланса в скоростях генерации и деградации рассматриваемых белков. Проведено численное исследование функционирования микроРНК в условиях дерегуляции р53-сети. Подробно изучено дерегулирование микроРНК. Изучены ситуации, в которых р53, его ингибитор и микроРНК проявляют критические свойства для состояния пациента и могут быть идентифицированы как диагностические маркеры рака и нейродегенеративной болезни. Результаты численного анализа хорошо согласуются с данными клинико-лабораторных исследований известных микроРНК.

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

2.65. Скибина Н.П., Фарапонов В.В., Савкина Н.В. Математическое моделирование газодинамических процессов в импульсной аэродинамической установке и расчет некоторых параметров потока в рабочей части

Аэродинамическая установка представляет собой техническое устройство, предназначенное для моделирования обтекания тела потоком газа. В качестве объектов исследований могут выступать модели летательных аппаратов, образцы материалов, натурные объекты и многое другое.

Основные эксперименты с использованием аэродинамических установок направлены на измерение давлений по поверхности тела, измерение действующих на тело сил и моментов, а также на визуализацию процесса обтекания. Однако при проведении экспериментальных исследований следует помнить, что любой измерительный прибор требует рационального размещения с целью минимизации нежелательного воздействия на структуру потока и регистрацию других параметров, при этом может возникнуть недостаток информации для описания поля течения в целом.

Целью работы является математическое моделирование газодинамических процессов, протекающих в импульсной аэродинамической установке.

Решалась задача математического моделирования движения потока воздуха в составных частях аэродинамической установки [1] (форкамера, сопло, рабочая часть и диффузор), а также моделирования процесса обтекания тела, закрепленного в рабочей части.

Моделирование осуществлялось с использованием вычислительного комплекса ANSYS, путем решения системы осредненных уравнений Навье — Стокса [2]. Численное решение поставленной задачи проводилось в двухмерной и трехмерной постановке. В качестве тестируемых тел были выбраны клин

и конус [3], так как для данных моделей ранее проводились серии экспериментов — дренажные и весовые испытания. Полученные экспериментально значения использовались для оценки согласованности физического процесса с результатами математического моделирования.

Численный расчет, как и экспериментальное исследование, производился для скоростей потока, соответствующих числам Маха от 2 до 4. Сравнение результатов математического и физического моделирования показало хорошее согласование по числу Маха и аэродинамическому коэффициенту силы лобового сопротивления — не более 3% и до 5% соответственно.

В процессе более детального рассмотрения геометрии сопел было выявлено, что используемые профили сопел не обладают достаточной точностью для проведения дальнейшего исследования. В настоящее время работа продолжается уже с использованием конструкторской документации.

Продолжение исследования, основанное на опыте данной работы, позволит получать данные о распределении любых газодинамических и термодинамических параметров во внутреннему объему аэродинамической установки.

Список литературы

- [1] Звезгинцев В. И. Газодинамические установки кратковременного действия. Часть I. Установки для научных исследований / Новосибирск: Параллель, 2014. 551 с.
- [2] Снегирёв А. Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: Учеб. пособие. / СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 143 с.
- [3] Маслов Е. А., Жарова И. К., Фарапонов В. В. и др. Физическое моделирование обтекания тел плоской и осесимметричной формы сверхзвуковым потоком // Труды V Международной молодежной научной конференции «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики». Томск: Труды Томского государственного университета, 2016. Т. 298. С. 84–88.

2.66. Смирнов Д. Д. Высокопроизводительные параллельные алгоритмы для численного решения стохастических дифференциальных уравнений с частными производными методом Монте — Карло на суперкомпьютере

Многие процессы в природе протекают под воздействием случайных факторов, поэтому для их описания используют стохастические дифференциальные уравнения с частными производными (СДУЧП). Аналитическое решение СДУЧП часто не удаётся найти, поэтому решение СДУЧП ищется численно методом статистического моделирования [1]. С помощью этого метода оцениваются различные вероятностные характеристики решения СДУЧП. Для достижения высокой точности этих оценок

требуется проводить дискретизацию по пространственным и временным переменным с малыми шагами и моделировать большое количество реализаций случайной функции, являющейся решением СДУЧП. Время счёта таких задач на персональном компьютере может достигать нескольких суток, поэтому появляется необходимость использовать суперкомпьютер [2]. Для решения этих задач был создан комплекс программ АМІKS, в котором реализованы параллельные алгоритмы [3]. Практика вычислений показала, что моментные функции и даже плотности распределений не дают полной информации о поведении решения СДУЧП. Более информативными являются частотные и статистические обобщения решений, в которых учитывается вся статистика из моделируемого ансамбля реализаций случайной функции [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 17-01-00698 и № 18-01-00599).

Список литературы

- [1] Артемьев С. С., Марченко М. А., Корнеев В. Д. и др. Анализ стохастических колебаний методом Монте-Карло на суперкомпьютерах / Новосибирск: СО РАН, 2016. 294 с.
- [2] Марченко М. А., Иванов А. А., Смирнов Д. Д. Комплекс программ АМІKS для численного решения СДУ методом Монте-Карло на суперкомпьютерах // Вычислительные технологии. 2017. Т. 22. № 3. С. 61–70.
- [3] Артемьев С. С., Марченко М. А., Иванов А. А. и др. АМІKS-программа для численного анализа стохастических осцилляторов на massively-параллельных вычислительных системах (свидетельство № 2016616439) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2016.
- [4] Артемьев С. С., Иванов А. А., Смирнов Д. Д. Новые частотные характеристики численного решения стохастических дифференциальных уравнений // Сиб. журн. вычисл. матем. 2015. Т. 18. № 1. С. 15–26.

2.67. Ступаков И. М. Преимущества основанных на намагнитченности вычислительных схем при решении задач электромагнетизма

При решении задач электромагнетизма в трехмерных областях чаще всего используют вычислительные схемы, в которых связь между магнитной индукцией $\mathbf{B}$ и напряженностью магнитного поля $\mathbf{H}$ основана на коэффициенте магнитной проницаемости μ [1],

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}. \quad (1)$$

При моделировании парамагнетиков и диамагнетиков коэффициент μ можно считать постоянным, что приводит к относительно простым и эффективным вычислительным схемам для решения задач электромагнетизма. Однако, в случае моделирования

ферромагнитных материалов зачастую приходится учитывать такие вещи, как зависимость магнитной проницаемости от поля и направления (анизотропия), что делает коэффициент μ нелинейным тензором. Вычислительные схемы при этом значительно усложняются. Еще одним серьезным недостатком таких схем является невозможность учета эффектов гистерезиса (связь в виде (1) запрещает иметь ненулевое поле $\mathbf{B}$ и нулевое поле $\mathbf{H}$).

Для учета эффектов гистерезиса используются схемы на основе намагниченности $\mathbf{M}$ [2]. В таких схемах связь между $\mathbf{B}$ и $\mathbf{H}$ записывается в виде [3]

$$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M}).$$

Преимуществом вычислительных схем на основе намагниченности является их универсальность — такие схемы позволяют решать как задачи, в которых требуется учет эффектов гистерезиса, так и задачи, в которых магнитная проницаемость зависит от поля или является анизотропной. Для этого достаточно в качестве модели намагниченности взять

$$\mathbf{M} = (\mu - 1)\mathbf{H}.$$

Такой подход позволяет реализовать вычислительные схемы, позволяющие достаточно эффективно решать различные задачи электромагнетизма.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 17-71-10203).

Список литературы

- [1] СОЛОВЕЙЧИК Ю. Г., РОЯК М. Э., ПЕРСОВА М. Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач / Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. 895 с.
- [2] MAYERGOYZ I. D. Mathematical models of hysteresis and their applications / Academic Press, 2003. 472 p.
- [3] СТУРАКОВ И. М. Comparison of hysteresis models applied to the simulation of a deflecting accelerator magnet using the finite element method // Proc. «13 International Forum on Strategic Technology (IFOST 2018)». China, Harbin: IEEE, 2018. P. 446–449.

2.68. Твёрдый Д. А. Задача Коши для дробно-дифференциального уравнения Риккати с непостоянными коэффициентами и учетом степенной памяти

В данной работе предложена задача Коши для уравнения Риккати с непостоянными коэффициентами и производной дробного переменного порядка:

$$\partial_{0,t}^{\alpha(t)} u(\tau) + a(t)u^2(t) + b(t)u(t) + c(t) = 0, \quad (1)$$

$$u(0) = u_0$$

где $u(t) \in C^2[0, t]$ — функция решения;
 $\partial_{0,t}^{\alpha(t)} u(\tau) = \frac{1}{\Gamma(1 - \alpha(t))} \int_0^t \frac{\dot{u}(\tau)}{(t - \tau)^{\alpha(t)}} d\tau$ — дробная производная переменного порядка $\alpha(t)$, причём

$0 < \alpha(t) < 1$; $\dot{u}(t) = du/dt$ — производная первого порядка; $\Gamma(\cdot)$ — гамма-функция; $t \in [0, T]$ — время; $T > 0$ — время моделирования; u_0 — начальное условие, заданная константа.

Задача Коши (1) является более общей, чем аналогичные задачи, рассмотренные в работах [1, 2], и решается с помощью численных методов: нелокальной явной конечно-разностной схемы и метода Ньютона. Проведена оценка вычислительной точности по правилу Рунге для используемых численных методов. В работе задача Коши (1), с помощью аппроксимации дробной производной по аналогии с работой [3], была сведена к дискретному аналогу, который был реализован в компьютерной среде Maple. С помощью этой программы были построены расчетные кривые в зависимости от различных типов функции $\alpha(t)$.

Работа выполнена в рамках темы НИР КамГУ имени Витуса Беринга «Применение дробного исчисления в теории колебательных процессов» № АААА-А17-117031050058-9 и при финансовой поддержке гранта президента Российской Федерации № МК-1152.2018.1.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Паровик Р. И.

Список литературы

- [1] SWEILAM N. H., KNADER M. M., MANDY A. M. S. Numerical studies for solving fractional Riccati differential equation // Applications and Applied Mathematics. 2012. Vol. 7. N. 2. P. 595–608.
- [2] ТВЕРДЫЙ Д. А., ПАРОВИК Р. И. Программа численного расчета задачи Коши для уравнения Риккати с производной дробного переменного порядка // Фундаментальные исследования. 2017. № 8 (1). С. 98–103.
- [3] ПАРОВИК Р. И. Finite-Difference scheme for fractal oscillator with a variable fractional order // Bulletin KRASEC. Physical and Mathematical Sciences. 2015. Vol. 11. N. 2. P. 85–92.

2.69. Трофимова С. А., Иткина Н. Б. Модификации многоуровневых методов для дискретного аналога задачи Дарси

Для описания фильтрационного переноса флюида под действием давления в пористых геологических средах используется модель Дарси. Для получения конечно-элементного приближения задачи Дарси в работе рассматривается смешанная вариационная постановка на базе разрывного метода Галёркина (DG-метода). Такой подход позволяет найти решение, соответствующее физике моделируемых процессов.

Основная идея смешанного метода заключается в нахождении как первичной, так и дуальной переменной, при этом осуществляется поиск критической точки соответствующего функционала над конечно-элементным пространством допустимых пробных функций, которое представимо в виде прямой суммы двух или более подпространств [1].

Разрывный метод Галёркина имеет ряд преимуществ по сравнению со стандартным методом конечных элементов при решении задач с разрывными или резко меняющимися коэффициентами, задач в областях с контрастными включениями [2]. Однако, основным недостатком DG-метода является возрастание количества степеней свободы. Проблемы, связанные с увеличением размерности системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) (ухудшение обусловленности и изменение структуры матрицы СЛАУ), могут быть разрешены при помощи построения специализированных решателей [3] и иерархических базисных систем.

Поиск решения на сумме двух подпространств H^{div} и L_2 , а также реализация различных стратегий нумерации конечных элементов и степеней свободы позволяют получить блочную структуру матрицы СЛАУ с заданными свойствами. При этом применение такой идеологии позволяет сформировать матрицу СЛАУ с минимальным количеством внедиагональных элементов в каждом блоке. На принципах использования специальной блочной структуры матрицы дискретного аналога основана методика построения алгебраического многоуровневого итерационного решателя, который рассматривается в данной работе.

Научный руководитель — д.т.н. Шурина Э. П.

Список литературы

- [1] ARNOLD D. N. Mixed finite element methods for elliptic problems // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 1990. N. 82. P. 281–300.
- [2] ARNOLD D. N., BREZZI F., MARINI L. D. Unified analysis of discontinuous Galerkin methods for elliptic problems // SIAM J. Numer. Anal. 2002. Vol. 39. N. 5. P. 1749–1779.
- [3] KRAUS J., MARGENOV S. Robust Algebraic Multilevel Methods and Algorithms / in: Radon Series on Computational and Applied Mathematics. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2009. 246 p.

2.70. Тугова Е.С., Бобков Е.А., Салов Д.Д. Моделирование распространения ультразвуковых волн в задаче диагностики технического состояния преобразователя давления

Одной из задач в области информационно-измерительной техники на современном этапе является создание интеллектуального датчика давления, обладающего функцией самодиагностики и/или метрологического самоконтроля [1]. Возможное решение данной задачи — использование избыточности, основанной на применении тестового ультразвукового сигнала пьезокерамического излучателя, установленного внутри корпуса измерительного преобразователя [2]. Для того, чтобы сделать возможным использование ультразвукового импульса в реальном датчике, необходимо установить его характеристики. Другими словами, актуальной является задача моделирования

распространения ультразвуковых волн в камере лабораторного стенда и в конструкции преобразователя давления [3]. Цель проекта — построить модель распространения ультразвуковых волн пьезокерамического излучателя и установить влияние режимов работы излучателя на параметры выходного сигнала тестируемого преобразователя давления.

В основе самодиагностики метрологического контроля датчика давления лежит метод быстрого преобразования Фурье и последующее получение спектра выходного сигнала с датчика. Для моделирования ультразвуковых волн в данной задаче использовался метод конечно-разностных элементов.

Данная работа позволила уточнить модель интеллектуального датчика давления с функцией метрологического самоконтроля, установлено влияние тестового ультразвукового воздействия на первичный преобразователь датчика, а именно на его выходной сигнал [4].

Полученные результаты позволяют усовершенствовать технические решения в данном направлении измерительной техники, повысить точность и надежность интеллектуального датчика давления.

Научный руководитель — к.т.н. Бушуев О. Ю.

Список литературы

- [1] ГОСТ Р 8.673-2009 ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения. Введён 2010-12-01 / М.: Изд-во Стандартиформ, 2010. 12 с.
- [2] СЕМЕНОВ А. С., БУШУЕВ О. Ю., СИНИЦИН В. В. Датчик давления с разделительной диафрагмой с функцией метрологического самоконтроля: патент 145163 МПК G01L9/00 (свидетельство № 2014102137/28) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2014.
- [3] АВДЕЕВ Д. А., РИМЛЯНД В. И. Моделирование распространения ультразвука в твердых телах различной формы // Информатика и системы управления. 2015. № 2 (44). С. 15–22.
- [4] БУШУЕВ О. Ю., СЕМЕНОВ А. С., ШЕСТАКОВ А. Л. Экспериментальная оценка динамических характеристик тензопреобразователей давления // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2011. № 1. С. 88–97.

2.71. Тукмакова Н.А. Численная модель динамики полидисперсной пароконденсатной смеси с учётом испарения капель и конденсации пара

В работе представлены математическая модель и результаты моделирования течения полидисперсной пароконденсатной смеси с учётом испарения капель и конденсации пара в теплообменнике-регазификаторе, конструкция которого представляет собой трубу Фильда. Динамика среды описывается системой уравнений движения многоскоростного многотемпературного континуума, учитыва-

ется обмен импульсом и энергией между несущей средой и дисперсными фракциями. Теплообменник-регазификатор предназначен для регазификации и подогрева сжиженного природного газа в автономных газораспределительных станциях. Актуальность работы заключается в моделировании процессов, происходящих при течении парокапельной смеси вдоль теплообменника-регазификатора, с целью предложения нового способа подогрева сжиженного природного газа и устранения переходных процессов, возникающих в ходе течения и нагрева смеси. Движение несущей и дисперсной фазы, включающей в себя n фракций, описывается системой уравнений для несущей среды, включающих в себя уравнение неразрывности, уравнения сохранения компонент импульса и уравнение сохранения полной энергии с учётом обмена импульсом и энергией с дисперсными фракциями. Дисперсная фаза состоит из ряда фракций, образованных частицами одного размера, динамика которых описывается уравнением сохранения средней плотности фракции, уравнениями сохранения компонент импульса и уравнением сохранения тепловой энергии. Система уравнений движения двухфазной полидисперсной смеси записывалась в обобщенных подвижных криволинейных координатах и решалась явным методом Мак-Кормака второго порядка со схемой нелинейной коррекции. Парокапельная смесь, наряду с каплями сравнительно крупных фракций, содержит мелкую фракцию, температурным и скоростным скольжением которой относительно несущей среды можно пренебречь и считать, что испарение таких капель, в случае, когда давление пара ниже давления насыщения при данной температуре среды, описывается равновесной моделью фазовых переходов, т. е. происходит мгновенно. Испаряется при этом такая масса мелкодисперсной капельной фракции, которая обеспечивает возвращение параметров несущей среды — давления и температуры на кривую фазового равновесия. В результате расчетов получены характеристики движения парокапельной смеси — временные зависимости плотности несущей среды и равновесной капельной фракции и зависимость температуры парокапельной смеси от времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-48-160017.

2.72. Фомина А.А. Критерий выбора направления распространения трещины при смешанной нагрузке и неявный алгоритм его реализации

Траектория гидравлической трещины оказывает большое влияние на эффективность применения технологии гидроразрыва пласта [1]. Поскольку трещина при распространении находится под воздействием смешанного нагружения, для реалистич-

ного описания продвижения фронта трещины необходимо использовать трехмерные критерии выбора направления распространения.

Целью работы является валидация неявного критерия распространения трещины, предложенного в [1]. В основе критерия лежит предположение, что трещина распространяется в направлении, где коэффициенты интенсивности напряжений (КИН) мод II и III равны нулю. Для выполнения обоих условий, моды КИН II и III с весовым коэффициентом β объединяются в функционал, определяемый через интеграл по всей длине фронта. Угол поворота трещины определяется как угол, при котором полученный функционал достигает минимума.

Для валидации неявного критерия и определения значения весового параметра β был выбран эксперимент [2] по трехточечному изгибу блока с наклоненной трещиной, распространение которой происходит при существенном воздействии моды III . В настоящей работе была разработана процедура перестроения расчетной сетки на каждом шаге распространения. В результате валидации было показано, что угол поворота трещины в начальный момент распространения, предсказанный на основе неявного критерия, практически совпадает с полученным в эксперименте.

В эксперименте по трехточечному изгибу диска с диаметральной трещиной [3] удалось получить поверхности трещин, распространяющихся при различных соотношениях мод I и III . В настоящей работе приведено сравнение поверхностей трещин, рассчитанных с помощью неявного критерия, с полученными в эксперименте.

На основе моделирования двух экспериментов [2, 3] показано, что неявный критерий выбора направления распространения трещины [1] позволяет описывать распространение трещины под действием смешанного нагружения, и определено значение весового параметра, минимизирующее отклонение рассчитанной поверхности трещины от наблюдаемой в эксперименте.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Лапин В.Н.

Список литературы

- [1] CHERNY S., LAPIN V., ESIPOV D. ET AL. Simulating fully 3D non-planar evolution of hydraulic fractures // International Journal of Fracture. 2016. N. 201 (2). P. 181–211.
- [2] LAZARUS. V., BUCHHOLZ F.-G., FULLAND M., WIEBESIEK J. Comparison of predictions by mode ii or mode iii criteria on crack front twisting in three or four point bending experiments // International Journal of Fracture. 2008. N. 153 (2). P. 141–151.
- [3] ALIHA. M. R. M, BAHMANI A. Rock Fracture Toughness Study Under Mixed Mode I/III Loading // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2017. N. 50 (7). P. 1739–1751.

2.73. Фролов О.Ю., Шрагер Г.Р. Неизотермическое течение степенной жидкости со свободной поверхностью при заполнении круглой трубы

Процесс заполнения емкостей широко осуществляется в различных технологических приложениях. При переработке полимерных композиций методом литья заполнение является одной из основных стадий в производстве. Реология текучих сред в зависимости от условий переработки может меняться от ньютоновской до проявления свойств нелинейновязких и вязкоупругих жидкостей. Кинематические, динамические и тепловые характеристики течения существенно влияют на механические и теплофизические свойства формуемого изделия. Целью работы является исследование влияния псевдопластичных и дилатантных свойств жидкой среды на кинематику фонтанирующего течения и тепловую картину при заполнении круглой трубы ньютоновской несжимаемой жидкостью в поле силы тяжести с учетом диссипативного разогрева.

Математическую основу описания течения образуют уравнения Навье — Стокса, уравнение неразрывности и уравнение энергии с соответствующими начальными и граничными условиями. Реологическое поведение жидкости описывается законом Оствальда — де Вилля с экспоненциальной зависимостью консистенции от температуры. На линии трехфазного контакта выполняется условие отсутствия касательного напряжения, а нормальная скорость равна нулю, причем в малой окрестности линии контакта касательная скорость на стенке экспоненциально падает от значения в точке трехфазного контакта до нуля. Таким образом, динамика линии трехфазного контакта включает в себя скольжение и накатывание свободной поверхности на твердую стенку.

Для численного решения сформулированной задачи применяется метод контрольного объема. Дополнительно используется корректирующая процедура SIMPLE для поправок скоростей и давления. Для аппроксимации конвективных слагаемых в уравнениях движения используется экспоненциальная схема, а в уравнении энергии — противопоточная схема. Для расчета составляющих вектора скорости на свободной поверхности используется метод инвариантов.

Проведены параметрические расчеты характеристик течения в широком диапазоне изменений определяющих безразмерных параметров и степени нелинейности жидкости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (грант № 18-19-00021).

2.74. Хегай Е.И., Борзенко Е.И. Численное моделирование течения вязкой жидкости при заполнении ёмкости на основе VoF-метода

В рамках настоящей работы проведено численное моделирование течения вязкой жидкости со свободной поверхностью при заполнении прямоугольной ёмкости с центральным телом в поле силы тяжести. Жидкость подается через отверстие в верхней крышке пресс-формы с использованием входного насадка заданной длины. Математическая постановка задачи включает уравнения Навье — Стокса и неразрывности. На твердых стенках ёмкости выполняются условия прилипания. В качестве граничных условий во входном сечении насадка используется параболический профиль скорости, соответствующий установившемуся течению жидкости в плоском бесконечном канале с постоянным расходом. В начальный момент времени заполнен только входной канал, свободная поверхность имеет плоскую форму. Решение задачи определяют два безразмерных критерия: число Рейнольдса и число Фруда.

Поставленная задача решается численно VOF-методом [1]. Поля скорости рассчитываются с использованием метода контрольного объема, а давление корректируется с помощью процедуры SIMPLE [2]. Для отслеживания эволюции свободной поверхности во времени привлекается модификация PLIC VOF [3].

В результате параметрических расчетов выявлены различные режимы заполнения пресс-формы в зависимости от значений параметров задачи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (грант № 18-19-00021).

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

Список литературы

- [1] HIRT C. W., NICHOLS B. D. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries // Journal of Computational Physics. 1981. N. 3. P. 201–225.
- [2] ПАТАНКАР С. Численные методы решения задач теплообмена и механики жидкости. Пер. с англ. / М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
- [3] JANGA W., JILESENA J., LIENA F. S., JI H. A study on the extension of a VOF/PLIC based method to a curvilinear co-ordinate system // International Journal of Computational Fluid Dynamics. 2008. Vol. 22. N. 4. P. 241–257.

2.75. Цавнин А.В., Ефимов С.В., Замятин С.В. Обеспечение вещественных значений полюсов замкнутой системы управления для решения задачи устранения перерегулирования

В ряде производственных задач, в частности, в металлургической, химической и иных отраслях промышленности, в контексте задач автоматического

го управления, наиболее актуальной проблемой является устранение перерегулирования переходных процессов. Учеными и специалистами, как в России, так и зарубежом проведен ряд исследований по данной тематике, в частности, работы [1–3]. Одним из методов, позволяющих обеспечить замкнутой системе управления монотонный переходный процесс является расположение вещественных полюсов системы λ_1 , λ_2 и λ_3 таким образом, чтобы выполнялось условие

$$\delta - |\beta| < \lambda_2 < \delta + |\beta|, \quad (1)$$

где δ и β вещественная и мнимая часть комплексносопряженных нулей замкнутой системы, полюс системы [4]. На основе данного правила возможно получить метод синтеза ПИД-регулятора, который бы обеспечил заданное расположение полюсов. Решение данной задачи рассмотрено на примере колебательного объекта управления второго порядка.

Задачу синтеза можно разделить на две части:

1. Определить области допустимых настроек регулятора для заданного объекта, которые бы обеспечили вещественные значения полюсов передаточной функции замкнутой системы;
2. В области допустимых значений настроек найти область, которая обеспечит выполнение условия (1).

Вещественные полюса замкнутой системы управления могут быть обеспечены в том случае, если дискриминант характеристического уравнения строго больше нуля. На основании матричного представления выражения дискриминанта, для характеристического уравнения вида

$$s^3 + (2\alpha + D)s^2 + (\alpha^2 + \omega^2 + K)s + I = 0, \quad (2)$$

где K , I и D — настроечные параметры ПИД-регулятора, а α и ω — вещественная и мнимая часть полюсов объекта управления. Получены аналитические выражения, определяющие допустимую область настроечных параметров регулятора, которые бы обеспечивали исключительно вещественные решения уравнения (2).

Для полученных диапазонов значений настроечных параметров регулятора проведено моделирование с колебательным объектом управления второго порядка в среде Matlab.

Научный руководитель — к.т.н. Замятин С. В.

Список литературы

- [1] ZEMANIANI H. The properties of pole and zero locations for nondecreasing step responses // Trans. Amer. Inst. Elec. Eng. Part I: Communication and Electronics. 1960. Vol. 79. P. 421–426.
- [2] JAYASURIYAI S., SONG J.W. On the synthesis of compensators for nonovershooting step response // Proc. Amer. Contr. Conf. 1992. Vol. 1. P. 683–684.

- [3] JAYASURIYAI S., SONG J.W. On the synthesis of compensators for nonovershooting step response // Proc. Amer. Contr. Conf. 1992. Vol. 1. P. 683–684.

- [4] LEON DE LA BARRA B.A., FERNANDEZ M.A. Transient properties of type m continuous time scalar systems // Automatica. 1994. Vol. 30. N. 9. P. 72–75.

2.76. Цгоев Ч.А. Математическое моделирование гибели кардиомиоцитов при инфаркте миокарда

В докладе представлены новые математические модели и результаты численных исследований динамики некротической гибели клеток сердечной мышцы вследствие ишемического повреждения (инфаркт миокарда II типа). Тема исследований актуальна, потому что данный тип заболевания до сих пор остается малоизученным. При построении математических моделей главное внимание уделено анализу воспалительного процесса в центре очага некроза во время острой фазы инфаркта. Рассматриваются математические постановки в виде задач Коши для жестких нелинейных систем ОДУ.

Разработана вычислительная технология решения обратной коэффициентной задачи, которая базируется на использовании методов типа предиктор — корректор, генетического (ГА), градиентного и овражного методов оптимизации. Разработаны математические модели инфаркта миокарда с использованием экономичной технологии структурной и параметрической идентификации ОДУ по экспериментальным данным. Выполнен статистический анализ результатов работы ГА и анализ чувствительности моделей. Адекватность моделей подтверждается качественным и количественным согласием с данными лабораторных экспериментов при инфаркте в левом желудочке сердца мыши. В рамках принятых моделей даны оценки некоторых противовоспалительных стратегий снижения уровня некротического повреждения клеток миокарда. Разработаны основы для построения пространственной математической модели инфаркта.

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

2.77. Черноусов А.Е., Башкирова А.А. Моделирование течения вязкой несжимаемой жидкости около кругового контура с вихревым разделителем

Исследованию задачи обтекания кругового цилиндра потоком вязкой несжимаемой жидкости посвящено множество работ. Наибольший интерес вызывает режим течения, при котором образуется вихревая дорожка в следе за цилиндром. Отрыв вихрей происходит с двух сторон тела поочередно, с четко выраженной периодичностью. За телом образуются две цепочки вихрей, направление вращения вихрей в одной цепочке противоположно направлению вращения в другой. Возникновение дорожки Кармана представляет собой серьезную проблему для обте-

каемого объекта — это приводит к раскачиванию таких высотных сооружений, как дымовые трубы и небоскребы, а также таких инженерных конструкций, как мосты и трубопроводы.

Таким образом, актуальной является задача подавления процесса возникновения вихревой дорожки. В данной работе исследуется влияние пластины, прикрепленной к обтекаемому объекту со стороны, противоположной от набегающего потока, на образование дорожки Кармана.

Дифференциальная постановка задачи представлена системой уравнений Навье — Стокса в переменных «скорость — давление», для численного решения которой используется схема расщепления по физическим процессам. Для решения полученных уравнений применяется метод конечных элементов с линейной аппроксимацией функций на элементе.

В 2D постановке на основе многочисленных расчетов с варьированием числа Рейнольдса и длины вихревого разделителя получена диаграмма, позволяющая определить требуемые параметры для подавления вихревой дорожки. В 3D постановке дополнительно решена задача с использованием «интерцептора» — спиралевидной конструкции на поверхности цилиндра. Если в первом варианте возможно решение задачи в двумерной постановке, то использование «интерцептора» в качестве гасителя вихревой дорожки влечет за собой необходимость применения пространственной модели. Привлекательность использования «интерцептора» по сравнению с разделяющей пластиной обусловлена независимостью от направления течения, а также сравнительно меньшими размерами для предотвращения образования вихревой дорожки. Винтовая конструкция «интерцептора» предотвращает образование двумерного потока — при его обтекании потоки с противоположных сторон цилиндра приобретают противоположные по знаку вертикальные скорости, при этом продольная скорость вдоль потока уменьшается.

2.78. Шебелева А.А., Бudyко В.М., Шебелев А.В., Лобасов А.С. Расчетное исследование эффективности смешения жидкостей в различных по геометрическим формам микромиксерах

В настоящее время в различных областях науки и техники активно продвигается миниатюризация устройств и технологических процессов, возрастает интерес к капиллярной гидродинамике в микросистемах, большое внимание уделяется вопросам энергоэффективности и энергосбережения [1]. В связи с этим становится актуальной задача оптимизации перемешивания жидкостей и получения максимального прироста эффективности смешения при минимальном увеличении гидродинамического сопротивления микроканала [2].

В настоящей работе представлены результаты расчетного исследования влияния геометрии микромиксеров при различных числах Рейнольдса на эффективность смешения жидкостей и перепад давлений в канале смешения. Было рассмотрено несколько геометрий микромиксера, а также проведено исследование влияния различного количества базовых элементов для каждой геометрии.

В работе используются методы вычислительной гидродинамики (CFD), рассматриваются несжимаемые течения многокомпонентных жидкостей, которые моделируются посредством решения системы уравнений Навье — Стокса. В результате работы было установлено, что различия в геометрических формах микромиксеров и количестве базовых элементов влияют на эффективность смешения и перепад давлений. Таким образом, можно определить оптимальную геометрию микромиксера, при которой прирост эффективности смешения будет максимальным при минимальном приросте перепада давлений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-48-243011), Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта.

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

Список литературы

- [1] CHAKRABORTY S., BALAKOTAIAH V. A novel approach for describing mixing effects in homogeneous reactors // Journal Chemical Engineering Science. 2003. Vol. 58. P. 1053–1061.
- [2] LOBASOV A., MINAKOV A. Analyzing mixing quality in a T-shaped micromixer for different fluids properties through numerical simulation // Chemical Engineering and Processing. 2018. Vol. 124. P. 11–23.

2.79. Шебелева А.А., Минаков А.В., Лобасов А.С., Бudyко В.М. Математическое моделирование разрушения капли неньютоновских жидкостей в потоке газа

Важной задачей в изучении механизмов дробления жидкости является определение условий получения распылов с заданными размерами частиц. В настоящей работе представлены результаты расчетного исследования разрушения капли неньютоновских жидкостей в потоке газа.

Для моделирования использовалась численная методика, основанная на VOF-методе для разрешения межфазной границы, LES модели для описания турбулентных потоков и технологии адаптированных динамических сеток.

В качестве тестирования была рассмотрена задача о дроблении капель ВУТ [1]. Анализ результатов моделирования показывает, что для обоих рассмотренных режимов расчет удовлетворительно описывает данные эксперимента [1], как по динамики процесса дробления, так и по форме поверхности ка-

пель и их отдельных фрагментов в различные моменты времени.

На основе верификационной расчетной методики проведено моделирование вторичного распада капли ВУТ с содержанием КЕКа 50 % для различных значений числа Вебера. Скорость потока варьировалась в диапазоне от 9 до 50 м/с. Физические свойства суспензии ВУТ задавались в соответствии с данными [2], коэффициент поверхностного натяжения принимался равным 0.072 Н/м.

В результате работы установлены режимы распада капли в зависимости от числа Вебера. Подробно исследована структура течения за каплями. Получено хорошее согласие с результатами известных экспериментальных данных [1].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-38-00565).

Список литературы

- [1] HUI Z., HAI FEND., JIAN LIANG. Secondary breakup of coal water slurry drops // Phys. Fluids. 2011. Vol. 23. 113101.
- [2] ШЕБЕЛЕВА А. А., МИНАКОВ А. В., ЧЕРНЕЦКИЙ М. Ю., СТРИЖАК П. А. Исследование деформации капли органоводоугольного топлива в потоке газа // Прикладная механика и техническая физика. 2018 Т. 50. № 4. С. 89–98.

2.80. Шелопут Т.О. Вариационная ассимиляция данных об уровне в модели гидротермодинамики Балтийского моря, основанной на методе расщепления

Настоящая работа посвящена исследованию и численному решению задачи вариационной ассимиляции данных наблюдений об уровне, возникающей при моделировании гидротермодинамики в акваториях с «жидкими» границами. Под «жидкими» (открытыми) границами акватории подразумеваются границы типа «вода — вода», например, границы, проходящие по проливам, устьям рек и т. д. Проблема задания граничных условий на «жидких» границах является одной из важных проблем современной геофизики. Одним из подходов к решению данной проблемы является вариационная ассимиляция данных наблюдений, позволяющая с некоторой точностью восстановить граничные функции, рассматривая задачи как обратные.

В работе приведены результаты численного решения задачи вариационной ассимиляции данных об уровне на «жидкой» (открытой) части границы в модели гидротермодинамики Балтийского моря. Рассмотрена постановка задачи вариационной ассимиляции данных об уровне на открытой границе, приведен итерационный алгоритм решения данной задачи и сформулированы некоторые выводы о сходимости данного алгоритма и разрешимости исходной задачи. В основе настоящей работы лежит общая методология исследования и решения обратных задач и задач оптимального управления, изложен-

ная в [1]. Подробно рассмотрены результаты применения алгоритма к решению задачи моделирования гидротермодинамики Балтийского моря. Для ассимиляции были использованы данные спутниковой альтиметрии, а также данные наблюдений за уровнем моря на уровнемерных постах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-01-00548) и РНФ (грант № 14-11-00609).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Агошков В. И.

Список литературы

- [1] Агошков В. И. Методы оптимального управления и сопряженных уравнений в задачах математической физики / М: ИВМ РАН, 2016. 244 с.
- [2] ДЕМЕНТЬЕВА Е. В., КАРЕПОВА Е. Д., ШАЙДУРОВ В. В. Восстановление граничной функции по данным наблюдений для задачи распространения поверхностных волн в акватории с открытой границей // Сибирский журнал индустриальной математики. 2013. Т. 16. № 1. С. 10-20.
- [3] ЛЕБЕДЕВ С. А. Методика обработки данных спутниковой альтиметрии для акваторий Белого, Баренцева и Карского морей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 6. С. 203-223.

2.81. Штанько Е.И., Добролюбова Д.В. Алгоритмы построения полиэдральных сеточных разбиений для объектов с гетерогенной структурой, заданных в виде стека послойных изображений

Представление расчетной области в виде стека послойных изображений характерно для методов неразрушающей визуализации внутренней структуры геологических кернов, образцов биологических тканей и метаматериалов. Математическое моделирование физических процессов в заданных таким образом гетерогенных средах сеточными численными методами требует построения соответствующей дискретизации, учитывающей особенности их внутренней структуры.

Существует большое количество свободно распространяемых и коммерческих программных продуктов, позволяющих обрабатывать данные послойного сканирования объекта. Однако проблема построения трехмерных сеточных дискретизаций с явным разделением на подобласти с различными физическими свойствами в полной мере программными комплексами не решается и остается актуальной.

В данной работе предлагаются алгоритмы построения иерархических сеточных разбиений, учитывающих внутренние особенности дискретизируемой среды [1] и ориентированных на последующее решение задач математической физики современными многомасштабными конечноэлементными методами, такими как многомасштабный МКЭ [2], виртуальный МКЭ [3] и т. д.

Работа выполнена при поддержке комплексной программы фундаментальных исследований

СО РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования» на 2018–2020 годы по теме «Экспериментальные исследования и математическое моделирование нативных и инженерных объектов с фазоизменяемыми материалами» и программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 27 «Фундаментальные проблемы решения сложных практических задач с помощью суперкомпьютеров».

Научный руководитель — д.т.н. Шурина Э. П.

Список литературы

- [1] ШУРИНА Э. П., ДОБРЮЛОВА Д. В., ШТАНЬКО Е. И. Специальные процедуры для работы с объектами со сложной внутренней структурой по скану КТ-сканов // Cloud of Science. 2018. Т. 5. № 1. С. 40–58.
- [2] ALLAIRE G., BRIZZI R. A multiscale finite element method for numerical homogenization // Multiscale Modeling and Simulation. 2005. Vol. 4. N. 3. P. 790–812.
- [3] DA VEIGA L. B., BREZZI F., MARINI L. D. Virtual elements for linear elasticity problems // SIAM Journal on Numerical Analysis. 2013. Vol. 51. N. 2. P. 794–812.

2.82. Штука В.И. Моделирование распространения термоупругих ударных волн в несжимаемом цилиндрическом слое с предварительными деформациями

Ввиду особенной зависимости температурных и деформационных процессов, происходящих в резинах и каучукоподобных материалах, *интересным и актуальным* представляется исследование их поведения при существенно нестационарных граничных воздействиях. Проблематике деформирования сред с дополнительными кинематическими связями посвящены, в особенности, работы [1, 2], где основное внимание уделено эффектам, связанным с возникновением и распространением поверхностей сильных разрывов, а именно: определению поля перемещений в предварительно продеформированном цилиндрическом слое. Нелинейная математическая модель упругой среды при этом позволяет учитывать зависимость скоростей распространения волн разрывов деформаций (ударных волн) от предварительных деформаций и их интенсивностей.

В результате замкнутого исследования, проведённого в соответствии с показанными особенностями, удалось выявить сложную взаимосвязь механических и температурных процессов, одним из проявлений которой стало наблюдение относительно преобладания одних эффектов над другими: на поверхностях разрывов скачки температуры и добавочного давления определяются интенсивностями ударных волн, а в областях, где искомые функции являются непрерывными и гладкими, поле температур влияет на напряжённо-деформированное состояние.

Применение модификации лучевого метода [3], которая заключается в введении дополнительных разложений скоростей по дельта-производным

на фронте разрывов [4], к задачам с ударными волнами делает возможным определение напряжённо-деформированного состояния. Выбор, сделанный в пользу несжимаемых сред был продиктован явным проявлением в таких средах явлений изменения формы, а не объёма. Вопрос порядка следования ударных волн здесь поэтому также разрешается однозначно, в отличие от сред сжимаемых, в которых присутствуют волны расширения-сжатия.

Работа выполнена при частичной поддержке программы фундаментальных научных исследований «Дальний Восток» ДВО РАН 0262-2015-0123.

Список литературы

- [1] ШТУКА В. И. Лучевой метод в исследованиях одномерных цилиндрических ударных волн в несжимаемой упругой и упруговязкопластической средах: автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, 2017. 25 с.
- [2] ШТУКА В. И. Ударные волны в несжимаемом термоупругом цилиндрическом слое // Материалы X Всероссийской конференции по механике деформируемого твердого тела, Самара, 18-22 сентября 2017 г. Т. 2. Самара: Самарский государственный технический университет, 2017. С. 291–296.
- [3] БУРЕНИН А. А. Об одной возможности построения приближенных решений нестационарных задач динамики упругих сред при ударных воздействиях // Дальневосточный математический сборник. 1999. Вып. 8. С. 49–72.
- [4] TOMAS T. Y. Plastic Flow and fracture in solids / New York, London: Academic Press, 1961. 271 p.

2.83. Щербаков П.К. Исследование влияния впуска воздуха на пульсации давления в гидротурбине

Работа радиально-осевых турбин сопровождается пульсациями давления. В режимах повышенной нагрузки подобные пульсации связаны с гидродинамической неустойчивостью кавитационной полости, а в режимах неполной нагрузки с вращением вихревого жгута, в ядре которого также может быть кавитация. Для борьбы с этими явлениями в ходе эксплуатации применяется выпуск воздуха под рабочее колесо гидротурбины.

В работе [1] была разработана гибридная 1D-3D модель и численный подход для моделирования этого явления. Модель состояла из 1D гидроакустических уравнений для водовода и 3D осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье — Стокса для двухфазного потока «жидкость — пар» в гидротурбине. Обе системы уравнений связаны друг с другом посредством передачи давления и расхода на границе обмена между напорным водоводом и гидротурбиной. В настоящей работе предложенная ранее 1D-3D двухфазная «жидкость — пар» модель течения в проточном тракте гидроэлектростанции расширена путем включения второй газообразной фа-

зы — неконденсируемого воздуха. Все фазы являются несжимаемыми.

Для численного решения уравнений использован метод искусственной сжимаемости с MUSCL схемой 3-го порядка для аппроксимации конвективных потоков. Разработанная численная модель применена для исследования влияния вдува воздуха под рабочее колесо гидротурбины на нестационарное кавитационное течение в проточном тракте в различных режимах работы турбины. Исследовано влияние интенсивности вдува воздуха на характер пульсаций. Проведены серии нестационарных расчетов по моделям «жидкость», «жидкость — пар» и «жидкость — пар — воздух». Показано, что при впуске воздуха амплитуда пульсаций давления снижается, при этом кавитация исчезает. На режимах повышенной нагрузки нестационарный поток стабилизировался. Полученные результаты говорят о том, что вдув воздуха можно использовать для уменьшения амплитуд пульсаций давления в турбине. Дальнейшая работа направлена на усовершенствования модели и учета сжимаемости фаз.

Список литературы

- [1] SHIRKOV D., AVDYUSHENKO A., PANOV L. ET AL. CFD simulation of pressure and discharge surge in Francis turbine at off-design conditions // Proc. of the Intern. Conf. «IAHR Symp. on Hydraulic Machinery and Systems». Beijing: IOP Publishing, 2012. Vol. 15. N. 3.

2.84. Щербанюк А.М., Рыбков М.В. Система построения методов для решения умеренно-жестких задач

Сегодня современные универсальные программные комплексы применяют неявные методы решения задачи Коши для жестких задач, что не всегда оправдано с точки зрения вычислительных затрат. В такой ситуации предпочтительнее применять одношаговые алгоритмы на основе явных формул. Однако, современные алгоритмы на основе явных методов в большинстве своем не приспособлены для решения жестких задач, поскольку противоречие между требованиями точности и устойчивости численной схемы на участках установления приводят к выбору значительно меньшего шага интегрирования. Контроль устойчивости в этом случае позволит избежать данной проблемы. Тем не менее, явные методы типа Рунге — Кутты имеют небольшие области устойчивости. Поэтому актуальной является задача использования явных одношаговых схем с расширенными областями устойчивости с контролем точности и устойчивости [1].

В [2] разработан алгоритм определения коэффициентов полиномов устойчивости, при которых метод имеет заданную форму и размер области устойчивости. С применением полученных коэффициентов многочленов устойчивости легко найти коэффициенты методов первого порядка, в том числе

с согласованными областями устойчивости. На базе данных методов могут быть разработаны алгоритмы интегрирования с переменным числом стадий, а также алгоритмы переменного порядка. За счет вариации коэффициентов многочленов устойчивости и условий переключения между методами можно конструировать алгоритмы, наиболее подходящие для решения конкретной задачи.

Здесь представлена программная система, которая позволяет не только вычислить коэффициенты многочленов устойчивости и автоматически построить методы с расширенными и согласованными областями устойчивости, но и применить алгоритмы, позволяющие на разных участках задачи выбирать наиболее подходящие с точки зрения эффективности методы. В программе предусмотрены настройка параметров, определяющих область устойчивости метода, задание режима расчета (с контролем точности, с контролем точности и устойчивости, вычисление алгоритмом с переменным числом стадий, расчет алгоритмом переменного порядка) и отображение результатов расчетов пошагово на всем интервале интегрирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-31-00375).

Список литературы

- [1] Новиков Е. А. Явные методы для жестких систем: монография / Новосибирск: Наука, 1997. 195 с.
[2] Новиков Е. А., Рыбков М. В. Численный алгоритм построения многочленов устойчивости методов первого порядка // Вестник Бурятского государственного университета. 2014. № 9–2. С. 80–85.

2.85. Янькова Г.С., Черевко А.А., Акулов А.Е., Паршин Д.В. Ангиоархитектоника Виллизиева круга под влиянием сахарного диабета 1 типа разной продолжительности

Сосудистая система головного мозга имеет сложное строение. Одной из наиболее важных составляющих кровеносной системы головного мозга является Виллизиев круг, обеспечивающий равномерное кровоснабжение. Ответ на вопрос о наличии влияния сахарного диабета 1 типа на Виллизиев круг и прилегающие к нему сонные и позвоночные артерии представляет интерес в связи с применением этих результатов для более глубокого и более точного исследования этого тяжелого заболевания [1].

В данной работе использовалась генетическая линия высокочувствительных к диабету мышей NOD.CB17-Prkdcscid/J. Животные содержались в Центре генетических ресурсов лабораторных животных, ФИЦ ИЦиГ СО РАН (проект Минобрнауки России RFMEFI62117X0015). в работе использовались самцы и самки с сахарным диабетом продолжительностью 1 месяц, самцы с продолжительностью болезни 2 месяца и соответствующие им здоровые группы животных. На сверхвысокополь-

ном томографе Bruker BioSpec 117/16USR (ИЦиГ СО РАН) были получены исходные данные для построения сосудистых сетей. На их основе для всех групп мышей были построены модели сосудистого русла [2]. Далее, с использованием полученных моделей были проведены CFD-расчеты гемодинамики. Выполнен статистический анализ геометрических и гемодинамических характеристик моделей с помощью t -критерия Стьюдента и метода PLS-DA. Для группы животных с диабетом продолжительностью 1 месяц с помощью t -критерия Стьюдента были выявлены различия только у самок для значений максимальной скорости в сонных артериях, а самцы оказались устойчивыми к заболеванию такой продолжительности [3]. Для самцов из группы с продолжительностью диабета 2 месяца были выявлены статистически значимые различия в гемодинамике и строении Виллизиева круга.

Для обработки данных самцов из обеих групп был применен метод PLS-DA. Показано, что по оси первой главной компоненты самцы разделились согласно наличию заболевания. В формирование первой главной компоненты наиболее значимый вклад внесли гидродинамические параметры сосудистых сетей исследуемых лабораторных животных. По оси второй главной компоненты животные разделились согласно продолжительности заболевания. В формирование второй главной компоненты наиболее существенный вклад вносят геометрические характеристики Виллизиева круга.

На основе проведенного исследования можно сделать вывод, что с увеличением продолжительности заболевания сахарный диабет I типа начинает влиять на гемодинамику и строение даже крупных сосудов головного мозга.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-75-10029 — моделирование диабета и МРТ исследования; грант № 17-11-01156 — математическое моделирование).

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

Список литературы

- [1] L. YVONNE MELENDEZ-RAMIREZ, ROBERT J. RICHARDS, WILLIAM T. CEFALU Complications of Type 1 Diabetes // Endocrinology and Metabolism Clinics of North America. 2010. Vol. 39. P. 625–640.
- [2] PAUL A. YUSHKEVICH, JOSEPH PIVEN, HEATHER CODY HAZLETT, RACHEL GIMPEL SMITH ET.AL User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability // Neuroimage. 2006. Vol. 31. P. 1116–28.
- [3] A. AKULOV, A. CHEREVKO, G. YANKOVA, D. PARSHIN ET.AL The cerebral network's reconstruction by MRI methods and the hemodynamics study of small laboratory animal in type 1 diabetes // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2016. Vol. 886. P. 1–8.

3. Информационные технологии

3.1. Александров А., Васеева Т., Ананьева Н. Оценка эффективности алгоритма корреляции для различных аппаратных платформ

Функции свертки и корреляции дискретных сигналов должны достаточно быстро работать на любых аппаратных платформах. Одним из показателей эффективности и производительности программы является количество операций с плавающей точкой — FLOPS (Floating-point Operations Per Second). Эта величина позволяет оценить производительность как уже реально существующих, так и различных только разрабатываемых алгоритмов [1]. Однако использование FLOPS не позволяет оценивать быстродействие алгоритмов вычисления корреляции на специализированных устройствах.

Цифровые сигнальные процессоры имеют дополнительные команды, которые позволяют некоторые операции выполнять быстрее (например, умножение с накоплением, MAC) [2]. Эти команды позволяют сократить время выполнения однотипных действий в алгоритмах обработки данных (например, при вычислении БПФ).

В настоящее время не существует единого алгоритма, который бы охватывал различные варианты расчета корреляции сигналов. Все описанные методы [3] используют арифметические операции для чисел с плавающей точкой. Выбор алгоритма во многом зависит от разнообразных факторов, и охватить все вычислительные задачи одним методом не представляется возможным. Возникает необходимость создания оптимальной модели расчета корреляции сигналов с учетом всех возможных параметрических требований и аппаратных ограничений.

Для решения проблемы предлагается модель алгоритма корреляции, которая позволяет, основываясь на различных значениях входных параметров, например, тип используемого аппаратного устройства и количество отсчетов входных сигналов, выбирать соответствующий алгоритм расчета корреляции, который наиболее точно соответствует предъявляемым критериям оптимальности получаемого результата. Модель включает несколько вариантов алгоритмов расчета корреляции сигналов для платформ с различными наборами команд, начиная от самого простого и до алгоритмов, критичных ко времени выполнения и количеству используемой памяти для вычисления результата. Выбор варианта основывается на всех входных параметрах и в некоторых случаях позволяет существенно сократить число математических операций при работе алгоритма.

Применение полученной модели показало, что при использовании команд цифровых сигнальных

процессоров, поддерживающих сложные арифметические команды, общее количество таких операций может сократиться до 30 процентов, при этом время выполнения может сократиться еще сильнее. Полученная модель требует дальнейшей апробации на различных входных последовательностях для изучения ее адекватности и получения более точных результатов.

Список литературы

- [1] АЛЬТМАН Е. А., ВАСЕЕВА Т. В., КУЗНЕЦОВ Д. И. Моделирование алгоритмов обработки сигналов с целью оптимизации их аппаратной реализации // Современные научные исследования и разработки. 2017. № 4. С. 27–29.
- [2] ЕЛИЗАРОВ Д. А., АЛЕКСАНДРОВ А. В. Повышение вычислительной эффективности расчета корреляции радиосигналов за счет оптимизации алгоритма работы с памятью // Тр. V Всерос. Научно-технической Конф. «Современные проблемы радиоэлектроники». Омск: Сибирский федеральный университет, 2018. С. 16–20.
- [3] АЛЬТМАН Е. А., ЗАХАРЕНКО Е. И., ВАСЕЕВА Т. В. Применение метода разложения двумерной свертки при реализации цифровых фильтров // Научный Вестник Новосибирского Государственного Технического Университета. 2017. № 4 (69). С. 95–104.

3.2. Бафоев Р.Н., Проничкин С.В. Разработка и исследование математических моделей концептуального анализа научных исследований

Одним из главных направлений обеспечения перехода экономики России на инновационный путь развития в области науки, технологий и образования является повышение уровня инновационной активности акторов национальной инновационной системы. За последние годы было реализовано множество научно-технических программ [1] в рамках инновационной политики по стимулированию научных и образовательных учреждений к инновациям и развитию различных инструментов поддержки технологической модернизации; однако при наличии отдельных улучшений сохраняется фрагментарность и неустойчивость общего прогресса в этой сфере. Методологические дефекты существующих количественных подходов к многокритериальному анализу научных исследований являются одним из ограничений на пути эффективного выявления тенденций научно-технического, технологического и инновационного развития, а также прогнозно-аналитического обоснования управленческих решений.

Подавляющее большинство применяемых подходов [2] к многокритериальному анализу научных исследований, в том числе проектов научно-технических программ и полученных результатов, используют количественные концепты, основанные на числовом измерении показателей, которыми характеризуются научные исследования. Однако,

несмотря на кажущуюся простоту и очевидность, количественный подход мало пригоден для работы с качественными характеристиками научных исследований, так как содержит целый ряд методологических дефектов. В качестве научно-методического инструментария для построения концептов научных исследований и разработок предлагается использовать методологию вербального анализа решений [3], в частности методы порядковой классификации [4] реально имеющихся научных исследований, оцененных по многим качественным критериям с вербальными шкалами.

Разработана база знаний и математические модели информационно-аналитической обработки концептов научных исследований. Модели построения шкал составных концептов для выбора научных исследований, которые агрегируют большое число наборов исходных оценок, представляют собой результат последовательного решения задачи снижения размерности пространства признаков. Шкалы составных концептов на каждом иерархическом уровне конструируются с помощью унифицированной процедуры классификации, состоящей из однотипных блоков, с использованием нескольких разных методов принятия решений. Блоки содержательно выделяются в зависимости от специфики решаемой задачи. Переходя шаг за шагом на более высокий уровень иерархии, конструируются приемлемые составные концепты, вплоть до одного единственного концепта верхнего уровня иерархии — интегрального показателя, градации шкалы которого образуют требуемые классы решений. Полученный интегральный концепт, сконструированный из оценок по критериям, используется для ранжирования рассматриваемых многопризнаковых научных исследований и разработок.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 18-311-00279 и № 16-02-00173).

Список литературы

- [1] Блошенко А. В., Тихонов И. П., Сахарова Н. А., Холстов А. В. Пути повышения эффективности современных научно-технических программ // Экономическая наука современной России. 2015. № 1 (68). С. 53–62.
- [2] Багриновский К. А., Бендилов М. А., Хрусталев Е. Ю. Механизмы технологического развития экономики России / М.: Наука, 2003. 348 с.
- [3] Ларичев О. И. Вербальный анализ решений / М.: Наука, 2006. 324 с.
- [4] PETROVSKY A., ROYZENSON G. Multi-stage technique PAKS for multiple criteria decision aiding // International Journal of Information Technology and Decision Making. 2013. Vol. 12. P. 134–142.

3.3. Беденко К. В. Моделирование поля течений в рамках имитационного моделирующего комплекса для отработки алгоритмов интеллектуального управления групп АНПА

Алгоритмы интеллектуального управления (АИУ) формируют поведение автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) в условиях непрерывно изменяющейся подводной среды. Они позволяют аппарату наиболее рационально реагировать на поступающую от датчиков информацию о рельефе дна, течении, химическом составе воды и других особенностях подводной обстановки. Исходя из полученных данных, а также миссии аппарата и его текущей задачи, формируется сценарий поведения на основе простейших паттернов реагирования. Для тестирования и отладки АИУ рационально использовать имитационный моделирующий комплекс (ИМК), который обеспечит необходимое разнообразие видов рельефа дна, расположения объектов на нем и возникающих в процессе выполнения миссии ситуаций, а также предоставит удобные средства для моделирования поведения АНПА. Рассматриваемый ИМК представляет собой виртуальный полигон для тестирования и отладки АИУ групповых и одиночных АНПА. Он разрабатывается с использованием среды Unity, принципов модульной организации программного обеспечения и объектно-ориентированной парадигмы программирования и на данный момент включает в себя четыре основных модуля: генератор рельефа, генератор подводных течений, имитатор гидролокатора бокового обзора (ГБО) и блок управления моделью АНПА с клавиатуры.

Наличие в ИМК модуля подводных течений позволит в дальнейшем тестировать АИУ в как можно более реалистичной подводной среде. Современные методы моделирования течения жидкости отличаются по своей вычислительной сложности. Распространенными являются сеточные методы Эйлера, гидродинамика сглаженных частиц, методы, основанные на завихрениях и так далее. В качестве основной цели они преследуют реалистичность изображения [1,2]. Однако в целях ИМК, которые включают в себя отслеживание влияния потока течения на траекторию движения АНПА и дальнейшую корректировку траектории с помощью АИУ, задачу генерации поля течений можно рассматривать как задачу поиска пути для водного потока на дискретной сетке, используя подходы [3, 4]. Такая постановка учитывает размеры рельефа ИМК (до десятков квадратных километров), возможность редактирования рельефа с использованием интерфейса в режиме реального времени и, следовательно, необходимость пересчета поля течений согласно произведенным изменениям, а также позволяет исключить из рассмотрения тонкости гидродинамики, ко-

которые теряют свою актуальность в масштабах ИМК и в рамках преследуемых целей.

Предлагается моделировать поле течений в соответствии с подходом [3,4]. По полученному при запуске ИМК рельефу необходимо сформировать срез на заранее заданной высоте h . По этому срезу генерируется дискретная карта проходимых и непроходимых областей рельефа на высоте h . Далее размещается «источник течения» и с помощью алгоритма распространения фронта волны формируется сетка расстояний от каждой ячейки до источника. На основании полученных значений формируется сетка векторов скоростей течения, или иначе — векторное поле течений. В данной работе предложены модификации подхода, которые позволяют избавиться от источника на карте (т.е. точки стягивания, к которой стремятся все объекты, брошенные по течению) и сделать течения более разнообразными по сравнению с оригинальным алгоритмом.

Список литературы

- [1] Голохвастов В. А. Симуляция течения жидкости в компьютерных играх // Тр. III Всерос. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых по естественно-научн., экономич., юридич. и социогуманит. направлениям. Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2013. С. 18–20.
- [2] STAM J. Real-time fluid dynamics for games // Proc. Intern. Conf. «Game Developer Conference». San Jose, California, 2003.
- [3] PENTHENEY G. Efficient crowd simulation for mobile games // Game AI Pro: Collected Wisdom of Game AI Professionals. A K Peters/CRC Press, 2013. Vol. 1.
- [4] EMERSON E. Crowd pathfinding and steering using flow field tiles // Game AI Pro: Collected Wisdom of Game AI Professionals. A K Peters/CRC Press, 2013. Vol. 1.

3.4. Беликова М.Ю. Использование FRiS-функции для кластеризации пространственно-временных данных

Рассматривается задача кластеризации объектов исходной выборки, имеющих пространственную привязку и время регистрации, заключающаяся в группировке объектов на основе их пространственного и временного сходства. Предполагается, что наличие дополнительной информации об объектах выборки (атрибутивные признаки) не влияет на группировку объектов. В такой постановке задача кластеризации пространственно-временных данных может быть рассмотрена в признаковом пространстве малой размерности.

Одним из алгоритмов, позволяющих в пространствах малой размерности выделять кластеры произвольной формы, а также определять иерархическую структуру полученных кластеров, является алгоритм FRiS-Tax [1], основанный на использовании функции конкурентного сходства (Function of Rival Similarity, FRiS-функция) [2]. Отметим, что алгоритм FRiS-Tax производит поиск решения задачи

кластеризации, используя все объекты исходной выборки. Однако, если объекты имеют временную характеристику и их можно упорядочить по времени «появления», то процедуру группировки объектов можно построить на использовании следующей идеи: каждый следующий объект «инициирует» новую группу объектов (кластер), если прошло «много» времени с момента появления предыдущего объекта и/или объект появился «далеко» от существующих групп (кластеров), или может быть отнесен к уже существующей группе объектов. При этом для принятия решения о принадлежности к одному из уже существующих кластеров производится в условиях конкуренции с использованием FRiS-функции.

В докладе представлена модификация алгоритма FRiS-Tax для группировки пространственно-временных данных и опыт применения этого алгоритма в задаче кластеризации данных о молниевых разрядах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-47-040081).

Список литературы

- [1] БОРИСОВА И. А. Алгоритм таксономии FRiS-Tax // Научный вестник НГТУ. 2007. № 3. С. 3–12.
- [2] ZAGORUIKO N. G., BORISOVA I. A., DYUBANOV V. V., KUTNENKO O. A. Methods of recognition based on the function of rival similarity // Pattern Recognition and Image Analysis. 2008. Vol. 18. N. 1. P. 1–6.

3.5. Белова Е.Ю., Горюнова О.А., Орловская Я.А. Структурная схема системы расчета внутренних усилий и построения эпюр для звеньев манипулятора промышленного робота

По результатам доклада, опубликованного Международной федерацией робототехники, мировой объем продаж промышленных роботов в 2017 году составил 387 000 единиц, что на 31 % больше, чем в 2016 году [1]. Аналитики прогнозируют, что рост данного сегмента рынка продолжится, и к 2020 году составит 520 900 единиц, а общее число используемых на фабриках промышленных роботов приблизится к 3 миллионам единиц [2,3]. Для обеспечения высокого уровня качества продукта вопрос расчета внутренних усилий, возникающих в звеньях промышленного робота, на стадии проектирования приобретает особую актуальность.

Целью работы является создание структурной схемы системы расчета внутренних усилий и построения эпюр для звеньев манипулятора промышленного робота.

В состав системы расчета внутренних усилий и построения эпюр для звеньев манипулятора промышленного робота включены: подсистема представления данных; подсистема управления данными; подсистема передачи информации; подсистема ввода/вывода информации и управления запросами.

Подсистема представления данных представляет собой реляционную базу данных. Подсистема управления данными представляет собой реляционную систему управления базами данных.

Подсистема передачи информации представляет собой драйвер. Подсистема ввода/вывода информации и управления запросами представляет собой приложение, которое установлено на пользовательском компьютере, и обеспечивает: взаимодействие с пользователями на уровне визуализированной информации; доступ пользователей к элементам графического интерфейса и управление ими; отправку запросов в подсистему управления данными; прием и обработку результатов запросов из подсистемы управления данными; проверку вводимых значений на допустимость и соответствие формату; процесс авторизации и аутентификации пользователей.

Система расчета внутренних усилий и построения эпюр для звеньев манипулятора промышленного робота предназначена для обслуживания одного пользователя. Пользователь открывает на компьютере приложение, которое является подсистемой ввода/вывода информации и управления запросами, и вносит в поля исходные данные: длины звеньев, углы поворота звеньев, внутренний и внешний радиусы звена, плотность материала звена и массу груза. Введенная информация сохраняется в базе данных в подсистеме представления данных посредством реляционной системы управления базами данных в подсистеме управления данными. Обработка исходных данных, подразумевающая под собой вычисление значений внутренних усилий — нормальной и поперечной сил, изгибающего момента — в начальной, средней и конечной точках каждого звена манипулятора промышленного робота, производится в приложении. Результаты сохраняются в базе данных. Пользователю предоставлена возможность просмотра эпюр внутренних усилий для звеньев манипулятора промышленного робота, построенных на основе полученных значений, в приложении.

В результате выполненной работы описаны компоненты системы расчета внутренних усилий и построения эпюр для звеньев манипулятора промышленного робота и взаимосвязи между ними.

Список литературы

- [1] Industrial robot sales increase worldwide by 31 percent. [Электронный ресурс]. URL: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/industrial-robot-sales-increase-worldwide-by-29-percent> (дата обращения 17.09.2018).
- [2] Executive Summary World Robotics 2017. Industrial Robots. [Электронный ресурс]. URL: <https://ifr.org/downloads/press> (дата обращения 17.09.2018).
- [3] Robots double worldwide by 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robots-double-worldwide-by-2020> (дата обращения 17.09.2018).

3.6. Белоглазов И.Ю. Компьютерная модель нефтедобывающей компании

Нестабильность цен на нефть, изменение экспортной пошлины и различные внешние указания требуют быстрого изменения управляющих решений для всей производственной цепочки нефтедобывающей компании (от объемов добычи до направлений транспортировки и продажи нефти). Оптимизация таких управляющих воздействий возможна на основе имитационного моделирования бизнес-процессов во всей компании с помощью модуля Simulink пакета Matlab. Схема работы нефтедобывающей компании характеризуется следующими особенностями:

- 1) наличием прямых и обратных связей между ключевыми подсистемами: добыча, транспортировка, сбыт нефти, налоги, эксплуатационные расходы, инвестиции, административно-хозяйственные расходы;
- 2) необходимостью учета различных ограничений для подсистем и системы в целом;
- 3) потребностью в многоцелевой оптимизации.

В созданной модели выделяются компьютерные подсистемы (добыча нефти, её транспортировка и сбыт, уплата налогов и управление компанией), которые раскрываются и детально наполняются необходимыми блоками. Созданная модель из блоков модуля Simulink представляет собой систему конечно-разностных уравнений, которая описывает динамику работы нефтедобывающей компании. После ввода начальных условий включается процесс моделирования и выдаются графики изменения основных параметров работы компании по кварталам. Отличительной особенностью модели является:

- наглядность работы;
- функциональные связи подсистем и блоков;
- возможность учета различных ограничений для входных и выходных параметров (существуют блоки Saturation — ограничения и Delay — задержки во времени);
- быстрота расчета различных вариантов (все данные вводятся через диалоговые окна блоков);
- визуализация результатов моделирования в виде различных графиков.

Компьютерная модель в Simulink позволяет дополнять её оптимизационными блоками (генетические алгоритмы, нечеткая логика и др.) пакета Matlab для выбора оптимальных вариантов управления компанией.

Научный руководитель — к.т.н. Пономарев В. П.

3.7. Бобков Е.А., Тугова Е.С., Салов Д.Д. Разработка модели интеллектуального датчика давления в модуле Simulink

В настоящий момент со стороны промышленности наблюдается рост интереса к так называемым интеллектуальным средствам измерения. Они обладают более широкими возможностями по сравнению с традиционными средствами. Одной из возможностей датчиков, относящихся к интеллектуальным средствам измерения, является обеспечение возможности диагностики и/или самодиагностики своего технического состояния в процессе эксплуатации. Это позволяет предупредить выход датчика из строя и предотвратить потенциальные аварийные ситуации. Одним из наиболее часто используемых на производстве датчиков является датчик давления. Поэтому одной из задач в области информационно-измерительной техники на современном этапе является создание интеллектуального датчика давления, обладающего функцией самодиагностики и/или метрологического самоконтроля [1]. Возможное решение данной задачи — использование избыточности, основанной на применении тестового ультразвукового сигнала пьезокерамического излучателя, установленного внутри корпуса измерительного преобразователя [2].

Для того, чтобы разработать такую технологию, необходимо провести множество экспериментов, многие из которых напрямую связаны с изменением физического состояния датчика [3]. В связи с этим возникает необходимость создания компьютерной модели исследуемого объекта. Таким образом, цель проекта — создание модели интеллектуального датчика давления в модуле Simulink.

Для получения модели датчика давления в Simulink было разработано несколько подсистем:

- подсистема входа;
- подсистема преобразования;
- подсистема моделирования неисправностей;
- подсистема обработки сигнала.

Подсистема входа генерирует тестовые сигналы с необходимыми характеристиками. Подсистема преобразования предназначена для преобразования давления на входе подсистемы в электрический сигнал на ее выходе. Подсистема моделирования неисправностей создана для моделирования разного вида отклонений датчика от штатного режима работы. Подсистема обработки сигнала применяется для определения характеристик выходного сигнала. В ходе данной работы была получена модель датчика давления в модуле Simulink, готовая для дальнейшего использования в научно-исследовательской деятельности в области информационно-измерительной техники и автоматизации технологического процесса. Данный проект может быть полезен не только для раз-

работки интеллектуального датчика давления, но и для других научных целей.

Научный руководитель — к.т.н. Бушуев О. Ю.

Список литературы

- [1] ГОСТ Р 8.673-2009. ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения. Введен 2010-12-01 / М.: Национальный стандарт Российской Федерации: Стандартинформ, 2010. 12 с.
- [2] Бушуев О. Ю., Семенов А. С., Шестаков А. Л. Экспериментальная оценка динамических характеристик тензопреобразователей давления // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2011. № 1 (81). С. 88–97.
- [3] Семенов А. С., Синицин В. В., Бушуев О. Ю. Датчик давления с разделительной диафрагмой с функцией метрологического самоконтроля (свидетельство № 2014102137/28) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2014.

3.8. Борзилова Ю.С. Организация взаимодействия между компонентами информационной системы для комплексного исследования поэтических текстов

В настоящее время на базе Института вычислительных технологий СО РАН продолжают работы по автоматизации анализа поэтических текстов. Эти работы ведутся путем создания решающих те или иные частные задачи отдельных подсистем, которые являются составляющими в общей информационной системе. В рамках настоящего исследования решалась проблема организации взаимодействия между этими подсистемами, рассматриваемыми как компоненты единой информационной системы для комплексного исследования поэтических текстов в режиме пакетной обработки.

В рамках первого компонента осуществляется структурный анализ метроритмических характеристик. Анализ метроритмики стиха реализован в системе [1] в виде веб-приложения [2].

Компонент семантического анализа включает в себя извлечение словосочетаний и характеристик слов, связанных с синонимией: эти процессы тесно связаны между собой и взаимозависимы.

Еще один компонент связан с прагматическими аспектами анализа поэтических текстов. Определение жанра, стиля и других характеристик прагматического уровня текста выполняется с использованием машинного обучения, что позволяет построить рекомендательную систему на основе интеллектуального анализа лингвистики. На этапе взаимодействия с конечным пользователем для этой системы создается интерфейс для работы филологов. Этот интерфейс включает в себя пакетную загрузку текстов в хранилище данных и получение выходных параметров поэтических текстов после обработки.

В качестве основного связующего звена между компонентами выступает общая база данных, в которой хранятся как сами поэтические тексты, так и результаты автоматизированной обработки от других компонентов. Работа рекомендательной системы и пользовательского интерфейса организована по принципу «клиент — сервер».

Успешное развитие проекта откроет новые перспективы в автоматизации анализа поэтических текстов, что существенно упростит труд филологов.

Научный руководитель — к.филол.н. Кожемякина О. Ю.

Список литературы

- [1] БАРАХНИН В.Б., КОЖЕМЯКИНА О.Ю., ЗАБАЙКИН А.В., ХАЯТОВА В.Д. Автоматизация комплексного анализа русского поэтического текста: модели и алгоритмы // Вестник НГУ. Сер.: Информационные технологии. 2015. Т. 13. № 3. С. 5–18.
- [2] Анализ поэтических текстов онлайн. [Электронный ресурс]. URL: <http://poem.ict.nsc.ru> (дата обращения 25.08.2018).

3.9. Вьюнник Н.М., Фролов Р.В., Сечкарев А.Б. Построение индивидуальной спинальной 3D-модели позвоночника по рентгеновским снимкам

Сколиоз является распространенной патологией позвоночника как у детей и подростков, так и у взрослых людей. Определение типа и степени сколиоза чаще всего делается на основе рентгеновских снимков. Существует несколько разных методов для определения типа и степени сколиоза, кроме того, изображение позвоночника не всегда является четким и допускает разночтения, поэтому использование математических методов для построения модели позвоночника и определения типа и степени сколиоза является актуальной задачей.

Рентгенография занимает важную роль в визуальном диагностировании заболеваний костно-мышечной системы человека. Она также является наиболее доступным средством исследования и чаще всего назначается при первичной диагностике сколиоза. Кроме того, рентгеновский снимок, в отличие, например, от компьютерной томографии, выполняется в положении стоя, то есть в условиях естественной нагрузки позвоночника.

В данной работе представлена система по построению индивидуализированной пространственной модели позвоночника. Исходными данными для системы являются рентгеновские снимки во фронтальной и сагиттальной проекциях. Система предоставляет графический интерфейс для подготовки данных при построении модели и в режиме препроцессора позволяет проанализировать построенную модель. Для определения позвонков на снимках используется семантическая сегментация с использованием нейронной сети U-Net [1]. Сеть определяет для каждой точки изображения — принадле-

жит ли она позвоночнику. По результатам распознавания строятся контуры позвонков и описывающие их прямоугольники — на основе этих данных выполняется построение индивидуализированной 3D-модели. Распознавание проводится в полуавтоматическом режиме, то есть в случае неуспешного распознавания пользователь может переразмечить снимок вручную в режиме препроцессора. Модель учитывает информацию о размере, наклоне относительно осей координат, а также повороте позвонков. Так же, для каждого позвонка указывается его номер. Поскольку из рентгеновских снимков информация о повороте позвонков пока не извлекается, все позвонки считаются неразвернутыми. В дальнейшем планируется вычислять поворот позвонков по методике Раймонди. 3D-модель можно визуализировать в режиме постпроцессора, доступны стандартные опции для работы с трехмерными изображениями.

С целью повышения реалистичности для программы были смоделированы трехмерные позвонки разных видов для каждого из отделов позвоночника. Все внесенные данные обрабатываются — генерируется 3D-модель. Реализованная система имеет возможность отображать 3D-модель и сохранять её в obj-файле. Предполагается использование построенных таким образом моделей для постановки диагнозов и создания корректирующих корсетов [2]. В дальнейшем планируется дополнить систему модулем для определения типа и степени сколиоза по различным методикам.

Научные руководители — д.ф.-м.н. Захаров Ю. Н., к.ф.-м.н. Григорьева И. В.

Список литературы

- [1] RONNEBERGER O., FISCHER P., BROX T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation / N. Navab, J. Hornegger, W. Wells, A. Frangi (eds) // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). Springer, LNCS, 2015. Vol. 9351. N. 1. P. 234–241.
- [2] ВИССАРИОНОВ С.В., ПАВЛОВ И.В., КОКУШИН Д.Н. Моделирование влияния корректирующего корсета на напряженно-деформированное состояние дефектного позвонка // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2016. N. 2. P. 484–488.

3.10. Герасимова О.С. Изучение объектов размещения отходов по данным дистанционного зондирования Земли

В докладе рассматривается вопрос применения данных дистанционного зондирования Земли в задаче изучения объектов размещения отходов. Проблема негативного влияния отходов является одной из центральных проблем горнопромышленных регионов в области обеспечения экологической устойчивости и охраны окружающей среды [1]. Существующие в настоящее время методы анализа мест

размещения отходов [2] имеют ряд недостатков: постоянный наземный мониторинг затруднен сложностью физического доступа к удаленным территориям хранения отходов и высокой стоимостью лабораторных исследований; методы государственного регулирования ограничены нормами действующего законодательства и имеют большой временной период получения данных о состоянии компонентов окружающей среды. Методы дистанционного зондирования позволяют избежать указанных недостатков и позволяют вести наблюдения постоянно, в связи с чем становится актуальной задача применения данных дистанционного зондирования Земли с целью оценки объектов размещения отходов производства и потребления для последующего принятия необходимых управленческих решений.

Для формирования системы непрерывного наблюдения и изучения мест размещения отходов разработан алгоритм обработки данных дистанционного зондирования для создания спектральных библиотек мест размещения отходов и предложен последующий анализ результатов, позволяющий отслеживать состояние объектов размещения отходов и давать оценку временным изменениям. Работа алгоритмов протестирована на данных дистанционного зондирования Земли мест размещения отходов в городе Кемерово, проанализировано состояние объектов размещения отходов за 2014–2018 годы: в целом отмечено стабильное состояние мест размещения, не требующее принятия срочных мер государственного реагирования.

Список литературы

- [1] Алябьева Г. Н., Фахрина М. В. Антропогенное воздействие на природный потенциал Кемеровской области // Современные наукоемкие технологии. 2008. № 2. С. 83–87.
- [2] Разяпов А. З. Методы контроля и системы мониторинга загрязнений окружающей среды / М.: Дом МИСиС, 2011. 220 с.

3.11. Дородных Н. О., Коршунов С. А., Юрин А. Ю. Моделирование продукций в нотации RVML

В рамках исследований по инженерии знаний, как одному из направлений искусственного интеллекта, накоплен большой опыт и широкий спектр различных средств и методов представления и обработки знаний. В настоящее время широкую популярность приобрели семантические технологии и, в частности, онтологические средства представления знаний в сети Интернет [1]. Однако до сих пор наиболее распространенным и востребованным при разработке промышленных экспертных систем различного назначения остается формализм представления знаний, основанный на правилах (продукциях) [2]. Привлекательность данной модели представления знаний обусловлена ее простотой и наглядностью для специалистов предметной области, высо-

кой модульностью, легкостью внесения дополнений и изменений, а также прозрачностью механизма логического вывода.

При наличии множества языков представления знаний (ЯПЗ) продукционного типа: OPS5, CLIPS, Jess, Drools, RuleML и др., а также стандартов, например, RIF (Rule Interchange Format), остается актуальной задача автоматизации разработки продукционных баз знаний (БЗ) с использованием специализированных программных средств. Одной из групп данных средств являются графические редакторы (например, IBM JRules, Visual Rules, VisiRule и др.), поддерживающие создание визуальных абстракций, соответствующих элементам продукционных правил, с последующей их трансляцией в программные коды на различных ЯПЗ. Такой подход является наиболее перспективным, т. к. позволяет значительно сократить сроки разработки и расширить круг разработчиков БЗ за счет программирующих пользователей, владеющих навыками визуального моделирования.

Таким образом, целью данной работы является разработка программного обеспечения в форме веб-ориентированного графического редактора для создания продукционных БЗ с использованием специализированной визуальной нотации — Rule Visual Modeling Language (RVML) [3]. Данный редактор обладает возможностью интеграции с различными системами концептуального моделирования в части импорта и анализа визуальных информационных моделей, а также генерации кода на ЯПЗ CLIPS.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-37-00006).

Список литературы

- [1] W3C Semantic Web Activity [Электронный ресурс]. URL: <https://www.w3.org/2001/sw/> (дата обращения: 15.06.2018).
- [2] WAGNER W. P. Trends in expert system development: A longitudinal content analysis of over thirty years of expert system case studies // Expert Systems with Applications. 2017. Vol. 76. P. 85–96.
- [3] Юрин А. Ю. Нотация для проектирования баз знаний продукционных экспертных систем // Объектные системы. 2016. № 12. С. 48–54.

3.12. Дудаев А. Р., Кузьмичев А. В. ПО с высокопроизводительными облачными вычислениями применительно к задачам каротажа в нефтегазовых скважинах

Разработка программного обеспечения (ПО) для моделирования и интерпретации данных является приоритетным направлением в прикладной геофизике. Современные IT-технологии (новые библиотеки и фреймворки, вычисления с использованием высокопроизводительных GPU [1, 2] и высокоскоростная передача данных) позволяют разрабатывать ПО для различных геофизических задач нового поколения.

В основном, известное геофизическое ПО представляет собой приложение, которое необходимо устанавливать и обновлять. Такие приложения выполняют вычисления и визуализацию на устройстве пользователя. При этом высокопроизводительные расчеты накладывают аппаратные ограничения на устройство пользователя. Наиболее известными такими геофизическими ПО разработанными в ИНГГ СО РАН являются МФС ВИКИЗ и EMF Pro [3, 4], которые повсеместно используются при интерпретации данных электрокаротажа. Однако, рассматриваются все более сложные геологические модели сред, для которых используются соответствующие ресурсоемкие алгоритмы, что определяет потребность в создании ПО с высокопроизводительными расчетами на удаленных системах [5].

Архитектура разрабатываемого ПО основана на высокопроизводительных распределенных облачных вычислениях, предоставляемых пользователю и доступных с любых устройств от персональных компьютеров до смартфонов. ПО состоит из отдельных частей, каждая из которых может работать на отдельном устройстве. Клиентская часть реализована с помощью фреймворка Angular и выполняет только визуализацию данных. Серверная часть, реализованная на NodeJS, обрабатывает пользовательские запросы и управляет выполнением ресурсоемких задач. Вычислительная часть отвечает за высокопроизводительные расчеты на GPU внутри Docker-контейнеров на серверах (кластерах), обмениваясь входными и выходными данными с сервером через очередь RabbitMQ. Для работы такого ПО требуется лишь наличие браузера и доступ к серверу по сети. Обновление приложения происходит для всех клиентов одновременно за счет использования единого ресурса.

На примере реализованного ПО для моделирования сигналов БК и БКЗ в скважинах продемонстрирована эффективность разработанной архитектуры. Работа системы происходит в несколько этапов: пользователь задает параметры геоэлектрической модели и зондов в интерфейсе браузера; ПО отправляет на сервер запрос на выполнение моделирования сигналов зондов с заданными параметрами; сервер принимает запрос и добавляет входные данные в очередь; вычислительный модуль выполняет расчеты с извлеченными данными, а результат вычислений возвращает обратно; сервер получает результаты и отправляет клиенту рассчитанные каротажные сигналы для отображения.

Разработанная архитектура показала высокую эффективность при моделировании данных каротажа в реалистичных моделях нефтегазовых резервуаров.

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Глинских В. Н.

Список литературы

- [1] Глинских В. Н., Дудаев А. Р., Нечаев О. В. Высокопроизводительные гетерогенные вычисления CPU — GPU в задаче электрического каротажа нефтегазовых скважин // Вычислительные технологии. 2017. Т. 22. № 3. С. 16–31.
- [2] Глинских В. Н., Буланцева Ю. О. Математическое моделирование данных электромагнитного каротажа с использованием высокопроизводительного сопроцессора Intel Xeon Phi // Вестник НГУ. Серия: Математика, механика, информатика. 2014. Т. 14. Вып. 4. С. 11–22.
- [3] Ельцов И. Н., Эпов М. И., Ульянов В. Н. и др. Анализ и инверсия каротажных диаграмм в системе МФС ВИКИЗ-98 // Каротажник. 2000. Вып. 73. С. 70–84.
- [4] Пудова М. А., Власов А. А., Соболев А. Ю., Ельцов И. Н. Программная и алгоритмическая реализация совместной обратной задачи электрического и электромагнитного каротажа // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2008: IV Междунар. науч. конгр. Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых». Новосибирск, 2008. Т. 5. С. 195–199.
- [5] Мартыанов А. С., Тейтельбаум Д. В., Сердюк К. С. и др. Использование свободных сетевых ресурсов предприятия для решения емких вычислительных геофизических задач // Каротажник. 2011. № 11. С. 56–64.

3.13. Егоров И. А., Жихарев А. Г., Маторин С. И. К вопросу оптимизации системно-объектных имитационных моделей

Актуальность оптимизации системно-объектных имитационных моделей сводится к использованию имитационного моделирования для решения практических задач. Оптимизация активно применяется в имитационном моделировании для построения высококачественных моделей.

В работе рассматривается вопрос классификации задач оптимизации согласно основным элементам, из которых состоит имитационная системно-объектная модель: узел, функция, объект (УФО). Приведены описания и примеры моделей, в которых раскрывается смысл поставленных задач. Новизна проведенного исследования заключается в выделении классификации оптимизационных задач основываясь на положениях системно-объектного метода представления знаний (СОМПЗ) [1].

В основе положений СОМПЗ лежит оригинальный системно-объектный подход «Узел — Функция — Объект». Следовательно, системно-объектные модели могут быть оптимизированы по трем признакам: с точки зрения целостности систем и подсистем (узловая оптимизация); эффективность работы метода отдельно взятого объекта (функциональная оптимизация); оптимальные значения количественных показателей свойств объектов (объектная оптимизация).

Узловая оптимизация — изменение сопряжения двух узлов потоковыми объектами. Говоря про случай узловой оптимизации необходимо задействовать термин меры системности, который вводится для оценки соответствия подсистем требованиям надсистемы [2].

Функциональная оптимизация — выборочная замена метода объекта фрагментом кода, решающим аналогичную задачу. Эффективность изменения алгоритма будем оценивать по скорости, требуемой на исполнение метода.

Объектная оптимизация — получение оптимальных значений выходных данных (или свойств объекта). Такую оптимизацию еще можно назвать ресурсной. Как правило, в этом случае нам необходимо воспользоваться специальным узлом, содержащим метод, который преобразует входные параметры для получения оптимального значения искомым свойств объектов. Подобные задачи описываются в математической дисциплине «линейное программирование» [3].

Для каждого компонента подхода «Узел — Функция — Объект» применяется специальный метод оптимизации в системно-объектных моделях. Применение оптимизации позволяет составить более точную модель с точки зрения системности, более быстрой действующую модель с функциональной точки зрения, а также провести объектную оптимизацию с целью повышения эффективности процессов, представленных в модели.

Список литературы

- [1] Маторин С. И., Жихарев А. Г., Зимовец О. А. Исчисление объектов в системно-объектном методе представления знаний // Искусственный интеллект и принятие решений. 2017. № 3. С. 104–115.
- [2] ZHUKHAREV A. G., MATORIN A. G., KUZNETSOV A. V. ET AL. To The Problem of the Coefficient Calculus of the Nodal Object in the System-Object Models // Journal of Advanced Research in Dynamical And Control Systems. 2018. Vol. 10. P. 1813–1817.
- [3] Балдин К. В., Брызгалов Н. А., Рукосуев А. В. Математическое программирование // Искусственный интеллект и принятие решений / М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2013. 220 с.

3.14. Егоров Ю.А. Задача распознавания движений динамических объектов

Задача распознавания движений на видеозаписях находит свое применение в таких областях как: разработка систем безопасности, медицинская диагностика, образование, поиск и систематизация информации.

Целью исследования является разработка моделей и алгоритмов распознавания последовательности движений объектов на видеозаписях.

На видеозаписях запечатлен процесс сдачи учениками выпускных экзаменов. Необходимо распознать последовательности движений каждого участника

экзамена (ученики, организаторы). Среди этих последовательностей необходимо выделить последовательности, которые можно классифицировать как действия, нарушающие регламент проведения экзамена, либо как действия, соответствующие возникновению нештатной ситуации.

Были выявлены следующие особенности поставленной задачи. Во время проведения экзамена необходимо наблюдать за конечным множеством участников, которое определяется до его начала. При распознавании состояний участников экзамена важно учитывать класс участника — ученик, организатор, наблюдатель — так как для участника определенного класса существует характерное для него множество допустимых и недопустимых последовательностей движений. Важно учитывать то, что участники экзамена могут взаимодействовать как между собой, так и с окружающими их предметами. Видеонаблюдение осуществляется с помощью двух камер, неподвижно закрепленных на определенных местах, что исключает необходимость учитывать движение камер при распознавании действий.

Был проведен анализ существующих решений. Одни из самых эффективных моделей распознавания движений построены на базе двухпоточковых глубоких нейронных сетей [1, 2]. В ходе распознавания движений акцент делается на взаимодействии объекта с окружающими предметами. Обучение классификаторов для распознавания проводится на размеченных обучающих выборках.

В результате работы были выделены следующие этапы исследования:

- формальное описание недопустимых и допустимых последовательностей движений;
- исследование возможностей обучения классификатора на смоделированных данных.

Научный руководитель — д.пед.н. Захарова И. Г.

Список литературы

- [1] WANG Y., LONG M., WANG J., YU P. H. S. Spatiotemporal Pyramid Network for Video Action Recognition // CVPR. 2017. Vol. 6. P. 1529–1538.
- [2] SIMONYAN K., ZISSERMAN A. Two-Stream Convolutional Networks for Action Recognition in Videos. [Электронный ресурс]. URL: <http://papers.nips.cc/paper/5353-two-stream-convolutional-networks-for-action-recognition-in-videos.pdf> (дата обращения 07.09.2018).

3.15. Ермолаева Д.А. Выделение линеаментов на космоснимках

Данная работа направлена на решение задач, возникающих в области цифровой обработки данных дистанционного зондирования, требующих значительных вычислительных затрат, обусловленных использованием специализированных алгоритмов и многократного тестирования с привлечением обширной базы различных изображений, для обнаружения и извлечения линейных структур.

В ходе выполнения данной работы были исследованы и протестированы существующие методы, алгоритмы и программные комплексы, реализующие идентификацию линейных структур на данных дистанционного зондирования. Анализ показал, что в настоящее время не существует программного комплекса, обеспечивающего адаптивную настройку существующих алгоритмов. В связи с этим для решения данной задачи был реализован новый алгоритм, позволяющий работать с разными методами фильтрации и настраивать данные методы по параметрам рельефа.

В качестве основы был выбран программный комплекс TecLines, обладающий как значительными преимуществами, так и определенными недостатками, например: корректная работа только с одним фильтром, потеря необходимых данных при переходе от функции к функции, отсутствие итоговой таблицы по идентифицированным линейным элементам, неточное построение розы-диаграммы. Работа выполнена в среде разработки MatLab, что позволяет программному комплексу работать на любой операционной системе.

Использованная методика многоуровневого автоматизированного линейного анализа позволяет выявлять линейные структуры разных иерархических уровней. Это значительно повышает объективность и полноту выявления специфики геоэкологической обстановки на исследуемой территории, связанной с трещиноватостью горных пород и инициируемыми ею гидродинамическими и склоновыми процессами. В ходе выполнения работы были произведены сравнения с другими расчётными системами, анализ результатов показал работоспособность расширенного комплекса TecLines.

3.16. Жарков М.Л. О подходе к моделированию работы микрологистических транспортных систем на основе теории массового обслуживания

В работе представлен подход к построению математических моделей работы микрологистических транспортных систем на основе многофазных систем массового обслуживания с групповым поступлением заявок [1].

Под микрологистическими-транспортными системами (микро-ЛТС) понимаются подсистемы, структурные составляющие логистических систем, охватывающие работу отдельного предприятия. В сферу деятельности таких систем входит внутрипроизводственная логистика какого-либо объекта, т. е. подготовка и планирование производства, транспортно-складские работы и т. д.

При построении математической модели работы микро-ЛТС предлагается выделение двух основных компонентов системы: входящего потока заявок и структуры системы. Далее основные свойства и параметры этих компонентов представляют-

ся в виде набора величин (распределений). После чего каждый из наборов описывается на основании аппарата теории массового обслуживания.

Для описания входящего потока заявок в микро-ЛТС используется модель ВМАР-потока [2], что позволяет учитывать наличие нескольких различных потоков заявок, при этом каждый из них может быть групповым.

Для описания структуры системы применяются многофазные (обычно — трехфазные) СМО с обратными связями. Многофазной системой называется цепь из систем массового обслуживания (фаз), поступившая заявка последовательно проходит обслуживание в каждой фазе [1]. Фазы описывают работу подсистем микро-ЛТС в отдельности. Обратные связи предотвращают потерю заявок между фазами, в случае отсутствия свободных мест в очереди на второй или третьей фазах. Это позволяет обобщенно отобразить устройство и функционирование микро-ЛТС.

В докладе представлены математическая модель работы микро-ЛТС и построенные на ее основе стохастические модели железнодорожной сортировочной станции [3] и транспортно-пересадочных узлов [4]. Также приведены рекуррентные формулы, с помощью которых можно найти стационарные вероятности СМО с групповым поступлением заявок и численно-аналитический метод расчета стационарных вероятностей многофазных систем с групповым поступлением и блокировками. В дополнение к математической модели создана и программно реализована имитационная модель.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-06-00464).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Казаков А. Л.

Список литературы

- [1] Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / М.: Машиностроение, 1979. 432 с.
- [2] Дудин А. Н., Клименок В. И. Системы массового обслуживания с коррелированными потоками / Мн.: БГУ, 2000. 178 с.
- [3] Жарков М. Л., Парсюрова П. А., Казаков А. Л. Моделирование работы станций и участков железнодорожной сети на основе изучения отклонений от графика движения // Вестник ИрГТУ. 2014. Т. 53. № 3. С. 23–31.
- [4] Жарков М. Л., Казаков А. Л., Лемперт А. А. Определение критических показателей работы транспортно-пересадочного узла на основе многофазной системы массового обслуживания // Вестник УРГУПС. 2017. № 3 (35). С. 40–52.

3.17. Захарова Н.Б., Зотов А.Э. Обработка гидрофизических данных о состоянии морских сред на основе технологий обработки больших данных

В настоящее время идёт активное развитие наблюдательных систем для мониторинга состояния окружающей среды, в связи с чем стремительно растёт количество данных наблюдений. Большие объёмы данных приносят в океанологию как новые возможности для получения ценной информации, так и трудности, связанные с ее обработкой, хранением и своевременным анализом. Наряду с увеличением количества данных, развиваются технологии для их обработки, позволяющие более эффективно обрабатывать информацию.

В настоящей работе проводится обработка и анализ гидрофизических данных с использованием современных технологий обработки информации. Использование языка программирования Python [1] даёт возможность эффективно обрабатывать большие объёмы данных и интегрировать различные программы для конкретных задач в единую систему. Применение языка R [2], благодаря широкому спектру статистических методов и удобству визуализации и наглядности, позволяет проводить анализ полученных данных, в том числе гидрофизических.

В работе используются данные дистанционного зондирования о температуре поверхности Балтийского моря за 1982–2017 годы. Проведены обработка и анализ полученной информации, выявившие положительный тренд в температуре поверхности исследуемой акватории за последние десятилетия. Положительный тренд был отмечен в работах других ученых (см., например, [3]). Настоящее исследование подтверждает, что выявленный тренд сохраняется.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых № МК-3228.2018.5.

Список литературы

- [1] Лутц, М. Программирование на Python. Т. 1 / М.: Символ, 2016. 992 с.
- [2] R: A language and environment for statistical computing. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.R-project.org> (дата обращения 01.09.2018).
- [3] ЛЕБЕДЕВ С. А. Климатические изменения температуры поверхности и уровня Балтийского моря по данным дистанционного зондирования // Янтарный мост. Журнал региональных исследований. 2014. № 1 (1). С. 78–95.

3.18. Калганов Д.А., Корляков К.А., Калганова Т.А. Поиск и классификация биоматериалов в изображениях растровой электронной микроскопии при помощи сверточных нейронных сетей

Растровая электронная микроскопия (РЭМ) широко применяется в исследованиях органических био-

материалов и наноструктур. В зависимости от вида пробоподготовки образцов возможно получение изображений их поверхности и внутренней структуры для различных режимов (отраженные и вторичные электроны), построение карты элементного состава. Процесс получения таких изображений сводится к двум основным этапам: поиск объекта исследования при малом увеличении и получение изображений при максимально доступной информативности (высокое разрешение, контраст, малое отношение сигнал/шум и т. д.). Автоматизация первого этапа, особенно в случае нескольких типов объектов, наличия частей и разной их ориентации является важной прикладной задачей любого крупного исследования с применением РЭМ. Решить эту задачу возможно с применением сверточных нейронных сетей [1].

В данной работе исследовались микроскопические изображения нитчатых водорослей с фибриллярной структурой в образцах озерного ила. Поиск, классификация и выделение координат для подробной съёмки был реализован при помощи свёрточной нейронной сети (СНС) Mask R-CNN. Входные данные представляли монохромные (контрастные) пиксельные изображения с разрешением 1280×960 пикселей. Для обучения нейронной сети был использован метод обратного распространения ошибки. Элементы обучающей выборки создавали разметкой массива из 500 изображений, сформированных при различных геометрических искажениях исходных микрофотографий.

На выходе СНС получали маску — прямоугольную матрицу, в которой значение 1 на некоторой позиции означало принадлежность соответствующего пикселя объекту заданного класса (одному из трех типов водорослей), 0 — что пиксель объекту не принадлежит. В дальнейшем для автоматизации процесса формировались сигналы перемещения предметного столика, изменения разрешения, автоматического фокуса и контраста, изменения директории для сохранения файлов и съёмки в стандартном программном обеспечении электронного микроскопа JEOL JSM-6510 через документированные производителем COM-объекты.

Созданная программа автоматизации поиска и классификации объектов для растровой электронной микроскопии позволила значительно снизить время исследования образцов большой площади (до 40×40 изображений) при допустимом уровне ложно-положительных срабатываний в 17%, легко исключаемых при дальнейшем изучении.

Список литературы

- [1] RONNEBERGER O., FISCHER P., BROX T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Proc. Intern. Conf. «Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention». Springer, Cham, 2015. Vol. 9351. P. 234–241.

3.19. Кондратьев Д.А. Доказательство условий корректности Си-программ, осуществляющих финитные итерации над структурами данных

Дедуктивная верификация программ основана на генерации условий корректности. Для вывода условий корректности используется аксиоматическая семантика. Аксиоматическая семантика содержит набор аксиом и правил вывода для всех программных конструкций. Классическое правило вывода для цикла основано на использовании инварианта, который должен задавать пользователь системы верификации. Это препятствует достижению нашей цели — автоматизации верификации Си-программ.

Поэтому, в проекте C-light [1] мы реализовали обработку циклов специального вида — финитных итераций над структурами данных. Правило вывода для такого цикла основано на использовании операции замены [2]. Такая операция выражает действие цикла в символической форме [3]. В ходе нашей работы был получен алгоритм автоматической генерации операции замены [4]. Таким образом, для финитных итераций удалось избежать задания инвариантов циклов.

Но автоматизация верификации подразумевает и автоматизацию доказательства условий корректности. Если программа осуществляет финитные итерации, то ее условия корректности будут содержать операции замены. Операция замены определяется рекурсивно, поэтому, содержащая ее условия корректности нужно доказывать по индукции. Для доказательства условий корректности в проекте C-light используется система ACL2. Эта система поддерживает использование индукции при доказательстве. При этом, использования классической индукции в системе ACL2 не достаточно для успешного доказательства условий корректности, содержащих операцию замены. Поэтому, нами были разработаны стратегии доказательства [4], основанные и на индукции, и на структуре условия корректности, и на структуре финитной итерации. Например, если финитная итерация содержит оператор выхода из цикла, то доказательство можно автоматически разбить на два случая: случился ли выход из цикла в ходе финитной итерации или нет.

Так как многие программы линейной алгебры [1] основаны на финитных итерациях над векторами и матрицами, то разработанные нами стратегии доказательства и алгоритм генерации операции замены позволили нам провести автоматическую верификацию ряда таких программ. В частности, были верифицированы реализующая интерфейс BLAS программа *asum*, вычисляющая сумму абсолютных значений элементов вектора.

В дальнейшем мы планируем верификацию других функций, реализующих интерфейс BLAS [3]. Кроме

того, необходимо расширять набор стратегий доказательства для автоматической верификации более широкого класса программ, основанных на финитной итерации.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-01-00789).

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

Список литературы

- [1] КОНДРАТЬЕВ Д. А. Расширение системы C-light символическим методом верификации финитных итераций // Вычислительные технологии. 2017. Т. 22. XVII Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. С. 44–59.
- [2] НЕПОМНЯЩИЙ В. А. Символический метод верификации финитных итераций над изменяемыми структурами данных // Программирование. 2005. № 1. С. 3–14.
- [3] KONDRATYEV D. // Proc. Intern. Conf. «Perspectives of System Informatics». LNCS, Springer International Publishing, 2018. Vol. 10742. P. 227–240.
- [4] MARYASOV I. V., NEPOMNASHCHY V. A., KONDRATYEV D. A. Invariant Elimination of Definite Iterations over Arrays in C Programs Verification // Modeling and Analysis of Information Systems. 2017. Vol. 24. N. 6. P. 743–754.

3.20. Костылев Д.А. Алгоритм корректировки местоположения автономного подводного аппарата по гидролокационным снимкам поверхности дна

В настоящее время на автономных необитаемых подводных аппаратах используются комплексированные навигационные системы, которые включают как инерциальные навигационные модули (ИСН), так и гидроакустические модули. При длительных многоцелевых миссиях по мониторингу акваторий накапливается значительная ошибка (до 1% от пройденного пути) в определении местоположения подводного аппарата [1]. Эффективность миссии в этом случае зависит от того, насколько точно подводный аппарат приходит к очередной цели мониторинга. Для уточнения местоположения аппарата естественно использовать дополнительную информацию о рельефе дна. Существует несколько подходов к уточнению координат аппарата: использование батиметрической информации, информации о наклонной дальности от многолучевых гидролокаторов и др. Это позволяет периодически уменьшать накопленную ошибку ИСН.

В данной работе предлагается подход к уточненному нахождению местоположения подводного аппарата по локальной информации гидролокатора бокового обзора путем сравнения полученного в ходе миссии гидролокационного изображения с имеющимися изображениями акватории мониторинга [2, 3]. Для тестирования алгоритма была разработана модель гидролокатора бокового обзора для имитации

онного комплекса, изображения которого будут использоваться для обработки.

Последовательность действий численного эксперимента сводится к представлению известной гидролокационной карты акватории в памяти аппарата, обработке полученного гидролокационного изображения (аппроксимация матрицы яркостей) для получения локальной карты аппарата, сравнению локальной карты с картой акватории.

В данной работе будет представлена реализация обработки (первичных) сырых данных с гидролокатора бокового обзора для дальнейшего анализа и корректирования местоположения аппарата [4].

Результаты данного подхода одновременно позволяют дополнять и обновлять уже существующие глобальные карты подводной поверхности.

Список литературы

- [1] Гончар А. И., Шлычек Л. И., Голод О. С. Гидролокаторы бокового обзора // Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану). 2004. № 1. С. 22–29.
- [2] CHONG K. S., KLEEMAN L. Sonar Based Map Building for a Mobile Robot // Proc. Intern. Conf. «Robotics and Automation». IEEE, 1997. Vol. 2. P. 1700–1705.
- [3] BECKMAN R., BOURGEOIS B., MARTINEZ A. AUV Positioning Using Bathymetry Matching // Proc. Intern. Conf. «OCEANS-CONFERENCE». IEEE, 2000. Vol. 3. P. 2123–2128.
- [4] VARVEROPOULOS V. Robot Localization and Map Construction Using Sonar Data // Rossum Proj. 2005. N. 10. P. 1–10.

3.21. Костылев М., Потапов В.П., Попов С.Е. Разработка информационной системы мониторинга смещений земной поверхности на базе облачных технологий

В работе рассматривается задача разработки информационной системы обработки радарных снимков с возможностью визуализации, конфигурирования и запуска алгоритмов основных этапов процессинга интерферометрических данных методом Persistent Scatterer в интерпретации с MPP-системой (Massive Parallel Processing) для высокопроизводительного мониторинга смещений земной поверхности участков аэрокосмической съемки.

В рамках работы реализовано два режима работы системы с собранными данными: пользовательский интерактивный режим и режим потоковой обработки. Для организации потоковой обработки используется метод Spark Streaming API `binaryRecordsStream()`. В процессе разработки использовались СУБД PostgreSQL с расширением PostGIS и файловая система HDFS в связке с языком Java для реализации подсистемы сбора и хранения данных. Подсистема обработки данных построена на основе технологии Apache Spark, а вычислительные модули для отдельных этапов процессинга радарных данных написаны на языках Java и Scala.

В качестве средства управления ресурсами кластера используется система Apache YARN. Управление потоками заданий осуществляется при помощи Apache Oozie. Пользовательский интерфейс построен с применением технологий React и Redux. В качестве среды выполнения используется платформа NodeJS. Архитектура приложения основана на парадигме однонаправленного потока данных (Flux). Данный подход предполагает хранение всех необходимых для работы приложения данных в едином хранилище состояния в виде дерева объектов, а также описания всех возможных действий в системе и их воздействия на текущее состояние. Компоненты графического интерфейса создаются как функция от состояния, которая возвращает заданное представление.

Веб-приложение взаимодействует с хранилищем данных на базе распределенной файловой системы HDFS, платформой массово-параллельных вычислений Apache Spark через REST API, а также с базой данных PostGIS. Распределенная файловая система используется как для хранения обрабатываемых в системе данных, так и для размещения вычислительных модулей отдельных этапов процессинга радарных данных. Каждый модуль представлен в виде JAR-файла, исполняемого системой Apache Spark, а также конфигурационного файла в формате JSON. Запуск заданий обработки выполняется при помощи POST-запроса к Spark REST API с передачей выбранных пользователем параметров (обрабатываемые изображения, координаты территории и т. д.). Предоставляется возможность мониторинга исполняемых заданий, а также просмотра результатов обработки и их дальнейшего использования.

Даны основные схемы маршрутизации потоков данных исполнения заданий. Представлена программная реализация в виде веб-портала на базе компонентов ReactJS, включая автоматизированную загрузку и обновлений базы данных радарных снимков Sentinel-1A посредством технологии RESTful API. Проведены тесты производительности программного комплекса, показано низкое время исполнения расчетных заданий на основе массово-параллельной обработки на программной платформе Apache Spark.

3.22. Кротова О.С. Построение моделей диагностики сахарного диабета у детей и подростков методами машинного обучения

Исследование посвящено одной из наиболее актуальных проблем диагностики и лечения сахарного диабета у детей и подростков — прогнозированию стадий компенсации и декомпенсации сахарного диабета. Актуальность и практическая значимость исследования определяется быстрым ростом заболеваемости и высокой степенью инвалидизации.

Сахарный диабет у детей и подростков протекает относительно остро и без своевременного лечения, как правило, приобретает тяжелое быстро прогрессирующее течение. У детей часто отсутствуют жалобы на плохое самочувствие и достаточно быстро наступает привыкание к гипергликемии (повышенному содержанию глюкозы в крови). Наличие различных осложнений, задержка физического и полового развития, являются поздними признаками длительной декомпенсации сахарного диабета.

Целью исследования является построение моделей прогнозирования стадий компенсации и декомпенсации сахарного диабета у детей и подростков методами машинного обучения. Информационное обеспечение исследования представлено «обезличенными» данными медицинского обследования детей и подростков Алтайского края, страдающих сахарным диабетом.

Для проведения исследования были выбраны следующие алгоритмы машинного обучения: логистическая регрессия, деревья решений, градиентный бустинг, метод опорных векторов, многослойный персептрон, адаптивный бустинг, бэггинг [1–3]. Реализация моделей, подбор оптимальных значений параметров, сравнение и оценка качества работы моделей осуществлялись на высокоуровневом языке программирования Python.

Наилучший результат прогнозирования показали ансамблевые методы машинного обучения: градиентный бустинг, адаптивный бустинг и бэггинг. Максимальные значения используемых метрик оценки качества показала бэггинг-модель (точность 0.86, полнота 0.81, F -мера 0.79, чувствительность 44 %, специфичность 78 %).

Разработанные модели могут применяться в медицинских учреждениях для дополнительной диагностики заболевания.

Научные руководители — к.т.н. Хворова Л. А., к.м.н. Пиянзин А. И.

Список литературы

- [1] Кротова О. С. Применение ансамблевых методов машинного обучения для диагностики сахарного диабета // Тр. Междунар. Конф. «Информация и образование: границы коммуникаций» INFO'18. Горно-Алтайск: ГАГУ, 2018. № 10. С. 87–88.
- [2] Кротова О. С., Пиянзин А. И., Хворова Л. А. Искусственные нейронные сети в изучении сахарного диабета у детей и подростков // Тр. Всеросс. Конф. «Математики — Алтайскому краю». Барнаул: АлтГУ, 2018. С. 313–317.
- [3] Кротова О. С., Пиянзин А. И., Хворова Л. А. Некоторые математические подходы в построении моделей прогнозирования стадий компенсации и декомпенсации сахарного диабета у детей и подростков // Известия АлтГУ. 2018. № 4. С. 83–87.

3.23. Кузнецова И. В. Разработка системы для автоматизированного анализа метроритмических характеристик русских поэтических текстов

В настоящее время в ИВТ СО РАН разрабатывается компьютерная система для автоматизации комплексного анализа поэтических текстов, которая позволит уменьшить объем рутинной работы филологов, занимающихся изучением поэзии. Система предназначена для анализа прагматического, семантического и структурного уровня поэтических текстов. В данном докладе представлена реализация программного модуля, отвечающего за анализ структурного уровня: метра, стопности и рифмы.

В процессе выполнения работы нами был модернизирован и реализован алгоритм, представленный в статье [1]. Необходимость модернизации алгоритма была вызвана тем, что он предполагает «идеальную» акцентуацию слов и совершенно не учитывает наличие проблем, связанных с существованием пиррихий (когда не в шутку занемог), омографов (замок, замо́к), проклитик (на бо́л, на́ пол). Первые две из названных проблем решаются путем использования метода «по аналогии»: строки и строфы с неоднозначной расстановкой ударения сравниваются со строками и строфами, в словах которых ударения расставляются однозначно, и производится выбор ударения, обеспечивающего единство метрической характеристики для всего стихотворения. Проблема проклитик решается путем составления базы данных проклитик на основе словаря А. И. Зализняка.

Данная система, реализованная на языке Python, была протестирована путем сравнения с уже существующей системой анализа поэтических текстов [2], использующей алгоритм из работы [3], на корпусе стихотворений Пушкина (1818–1825 гг.). Результаты показали, что создаваемая система точнее в определении метра и стопности.

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

Список литературы

- [1] Бойков В. Н., Каряева М. С., Соколов В. А., Пильщиков И. А. Об автоматической спецификации стиха в информационно-аналитической системе // CEUR Workshop Proceedings. 2015. Т. 1536. С. 144–151.
- [2] Барахнин В. Б., Кожемякина О. Ю., Забайкин А. В. Алгоритмы комплексного анализа русских поэтических текстов с целью автоматизации процесса создания метрических справочников и конкордансов // CEUR Workshop Proceedings. 2015. Т. 1536. С. 138–143.
- [3] Козьмин А. В. Автоматический анализ стиха в системе Starling // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: Тр. Междунар. Конф. «Диалог 2006». РГГУ, 2006. С. 265–268.

3.24. Лопатина С.П., Свержунова Н.Ю., Янкович Е.П. Алгоритм эколого-геохимической оценки природной среды на основе геоинформационных технологий

Основное преимущество геоинформационных технологий заключается в их способности связывать пространственную и описательную (атрибутивную) информацию. Во многих работах российских и зарубежных ученых показаны возможности и результаты применения геоинформационных технологий и их реализации в виде геоинформационных систем для эколого-геохимической оценки различных территорий. Однако готовые решения по разработке структуры и содержанию баз геоданных, учитывающих специфику конкретной территории, отсутствуют.

В работе рассмотрен алгоритм процесса эколого-геохимической оценки с использованием геоинформационных технологий. Весь процесс разбит на пять взаимосвязанных этапов. Первый этап (подготовительный) включает выбор моделей графического представления данных и оценочных показателей, определение масштаба представления данных. Второй этап — определение методов сбора данных, их сбор и первичная обработка. Третий этап включает составление базы геоданных, преобразование и анализ полученных результатов. Следующий шаг — пространственный анализ и визуализация результатов. Заключительный этап — создание геоинформационной системы, представляющей собой обобщенную геоинформационную модель территории, базирующуюся на единой базе данных, в которой систематизированы и структурированы все данные об объектах, топографической основе и единых методах обработки и представления данных. На основе рассмотренного алгоритма создана геоинформационная система «ГГЭП Томский». Назначение системы состоит в систематизации данных, поступающих из различных источников, получении моделей пространственной локализации химических элементов и визуализации результатов эколого-геохимической оценки.

3.25. Лукьянова О.А., Никитин О.Ю., Мальковский С.И. Применение теории кос для исследования влияния структуры нейронной сети на передачу информации: обзор и программная реализация

Пространственные характеристики мозгового вещества влияют на динамику информационного потока. Представляется важным исследовать топологию нейронной информации для лучшего понимания биологических нейронных сетей, а также для их аналогов в области информатики.

В качестве инструмента моделирования нейронной топологии были предложены математические косы [1]. Рассмотрена неврологическая основа нейрон-

ного пути. Были продемонстрированы математические алгоритмы описания и преобразования путей прохождения сигнала в нейронных сетях.

В работе реализована среда моделирования для изучения информационной динамики в нейронной сети. На языке Java разработан симулятор нейронной сети с топологией, определяемой группами кос. За основу для построения симулятора взята система Greenfoot [2], предоставляющая основные классы для визуализации и взаимодействия объектов, а также, для запуска экспериментов. В симуляционной среде реализован аппарат для построения групп кос и их упрощения, с применением «редукции ручек» [3]. На основе топологии кос реализованы соединения в простейшей нейронной сети с фиксированными весами, а также, оценивается преобразование информации, в зависимости от различных топологий соединений.

Экспериментальная оценка определенных нейронных топологий показала, как пересечения нейронных путей влияют на обработку информации. Предложено математическое представление синаптического прореживания. Упрощение нейронных сетей показало применимость подхода к упрощению нейронных графов для экономии вычислительных ресурсов [4].

Эксперименты произведены с использованием вычислительных ресурсов Центра коллективного пользования «Центр данных ДВО РАН». Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-31-00188).

Список литературы

- [1] KASSEL C., TURAEV V. Braid groups / New York: Springer, 2008. 338 p.
- [2] HENRIKSEN P., KÖLLING M. Greenfoot: combining object visualisation with interaction // Proc. Intern. Conf. «19th annual ACM SIGPLAN Conference on Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications». Vancouver, BC, Canada: ACM Press, 2004. P. 73–82.
- [3] DENORNOY P. Efficient solutions to the braid isotopy problem // Disc. Appl. Math. 2008. Vol. 156. P. 3094–3112.
- [4] Лукьянова О.А., Никитин О.Ю. BraidNet: Процедурное конструирование нейронных сетей с использованием теории кос // Тр. IV Всерос. Научно-практич. Конф. «Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления». Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2017. С. 106–110.

3.26. Лучко Л.Г. Разработка и реализация алгоритма автоматизированного распознавания поэтических образов

Проблема автоматизированного анализа семантического уровня поэтических текстов включает в себя, в частности, задачу выявления использованных автором поэтических образов. Ввиду сложности и слабей формализуемости этой задачи необходимо по-

строить программное приложение для распознавания поэтических образов, обладающее возможностью самообучаться и самосовершенствоваться.

При решении поставленной задачи целесообразно использовать нейросеть, которая должна обладать базой знаний, необходимой и достаточной для реализации процесса обучения. К данной базе знаний относятся следующие базы данных: поэтических образов, синонимов и словоформ. Эти базы данных учитывают структуру словарей, то есть отражают отношение симметричности для поэтических образов, а также симметричности и транзитивности для синонимов.

В процессе исследования был разработан алгоритм распознавания поэтических образов, основанный на построении правила распознавания, которое формируется исходя из обучающей выборки, с учётом ошибки при распознавании данной выборки, что позволяет найти оптимальное правило распознавания.

Кроме того, словарь синонимов и словоформ применяется для выявления синонимических последовательностей поэтических образов, находящихся в различных формах.

Актуальность и новизна данной работы состоит в создании модели словарей поэтических образов и синонимов, которые лежат в основе соответствующих баз данных, разработке и реализации алгоритма распознавания поэтических образов с использованием вышеперечисленных баз данных, а также интеграции данного набора программ в систему автоматизации анализа русских поэтических текстов. *Научный руководитель — д.т.н. Баранкин В. В.*

3.27. Мажанов М.О., Скворцова С.С. Применение методологии «Шесть Сигм» для улучшения процессов организации

Российские организации все чаще обращаются к практике «Шесть Сигм», целью которой является улучшение качества продукции и обслуживания за счет повышения удовлетворенности потребителя и снижения количества дефектов [1]. Данная практика берет свое начало из всем известной компании Motorola. Когда в 80-х годах прошлого века качество продукции компании не отличалось стабильностью, компания разработала концепцию «Шесть Сигм», сосредоточившись на контроле критичных параметров в бизнес-процессах — причем критичных для конечного потребителя. Практика «Шесть Сигм» обычно включает пять этапов: определение, измерение, анализ, улучшение (совершенствование) и контроль (DMAIC). Использование «Шесть сигм» приводит к значительному снижению вариативности процессов [2].

Целью работы являлся анализ лучших зарубежных практик внедрения концепции «Шесть Сигм», определение основных этапов внедрения и реализация их на практике. Объектом исследования был вы-

бран процесс «демонтаж/монтаж установки электроцентробежного насоса (УЭЦН)», который играет важную роль в жизненном цикле нефтедобывающей скважины. В ходе работы была разработана карта проекта, в которой определены границы проекта, инструменты измерения, анализа и контроля, ответственные и т. д.

Для реализации третьего этапа цикла DMAIC были собраны данные по процессу «Демонтаж/монтаж УЭЦН», которые обработаны с помощью инструментов статистического анализа, определены соответствия показателей их целевым значениям, выявлены основные причины и источники их отклонений.

В ходе проделанной работы реализованы этапы цикла DMAIC: определение, измерение и анализ. На основе полученных данных предполагается реализация финальных этапов «совершенствование» и «контроль».

Список литературы

- [1] ГОСТ Р ИСО 13053-1-2015 Статистические методы. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200127239> (дата обращения 29.09.2017).
- [2] Редько Л. Ф., Пескова Е. С. Проблемы применения статистических методов контроля и управления качеством // Вестник науки Сибири. 2011. № 1 (1). С. 203–205.

3.28. Мамай И.Б., Проничкин С.В. Модели и алгоритмы многокритериального анализа среды функционирования организационных систем

Анализ среды функционирования организационных систем с учетом их динамических и комплексных характеристик является актуальной задачей для разработки аналитических инструментов в экспертных и интеллектуальных системах поддержки принятия решений [1]. Существующие подходы к разработке моделей оценки эффективности сложных систем, основанные на принципах моделирования среды их функционирования [2], ограничены общностью их моделирования.

В работе был проведен детальный анализ существующих подходов к оценке эффективности сложных динамических организационных систем на основе методологии анализа среды функционирования (АСФ). Выявлено, что традиционные модели АСФ представляют собой хорошую модельную концепцию меры для оценки эффективности в случае нескольких входов и выходов системы, но они не учитывают процессы их многоступенчатого преобразования (принятия решений) и по сути представляют собой модель «черного ящика». На практике классические непараметрические модели АСФ, в которых производственная функция между входами и выходами системы отсутствует, применяются чаще, чем параметрические модели [3]. В то же время, оперативная информация, встроенная

во внутреннюю структуру моделей, не учитывается в концепции «черного ящика», что может привести к завышенным или заниженным показателям эффективности.

Для нивелирования этих недостатков целесообразно использовать сетевые модели АСФ, которые используют ссылочные переменные, обычно называемые «промежуточными продуктами» [4]. Ссылочные переменные как выходные данные, полученные в предыдущем процессе, становятся входами следующего. Таким образом, ссылочные переменные формируются в один период времени, а становятся источником для роста в следующем. В таких однопериодных сетевых моделях выход процесса, полученный в данном периоде времени, не зависит от предыдущего.

В докладе предлагается новый подход к разработке динамических сетевых моделей АСФ для анализа общей эффективности сложных организационных систем. В отличие от существующих подходов, предлагаемый подход не зависит от набора заданных весов, используемых в свертках отдельных оценок эффективности компонентов сложных систем. В нашем подходе набор весов генерируется эндогенно на основе статистических данных различных перспектив развития системы с несколькими элементами и периодами функционирования. Такой подход к моделированию существенно отличается от существующих, поскольку представляет постдекомпозицию общей эффективности на основе эндогенной взаимосвязи между переменными, связанными с ограничениями компонентов и системными ограничениями. В частности, в отличие от подхода субъективной агрегации, в котором важность отдельных компонентов системы определяется с помощью предварительно заданных весов, в нашем случае используется объективная декомпозиция, которая определяет приоритеты элементов в интегрированной системе без предварительно заданных весовых коэффициентов. Весовые коэффициенты автоматически определяются на входах и выходах системы. Более того, предлагаемый подход к моделированию применим как для радиальных, так и нерадиальных мер. Проведена апробация разработанных научно-методических подходов на различных массивах данных. Выявлены детерминанты влияния государственной научно-технической политики на формирование инновационных стратегий организационных систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 18-311-00279 и № 17-33-00022).

Список литературы

- [1] TONE K., TSUTSUI M. Dynamic DEA: a slacks-based measure approach // *Omega: The International Journal of Management Science*. 2010. Vol. 38. N. 3. P. 157–168.
- [2] KAO C. Network data envelopment analysis: a review // *European Journal of Operational Research*. 2014. Vol. 239. N. 1. P. 78–94.

- [3] Проничкин С.В., Лычев А.В. Формализация среды функционирования акторов национальной инновационной системы на основе метода вербального анализа решений // *Наукоемкие технологии*. 2016. № 4 (17). С. 84–94.

- [4] CHEN K., KOU M. Staged efficiency and its determinants of regional innovation systems: a two-step analytical procedure // *The Annals of Regional Science*. 2014. Vol. 52. N. 2. P. 129–140.

3.29. Мердыгеев Б.Д. Анализ структуры отношений онтологии с использованием анализа формальных понятий

На сегодняшний день разработка и исследование методов интеллектуального анализа данных является стремительно развивающимся направлением. Множество интеллектуальных систем в качестве базы знаний используют онтологии. Эффективность такой системы напрямую зависит от эффективности знаний, представленных в онтологии. Необходима оценка качества знаний онтологии для поддержания ее в актуальном состоянии.

Существует множество методов анализа и оценки качества онтологий. Зачастую такие методы имеют свою специфику использования, требования к структуре онтологии, низкий уровень автоматизации, а также высокий уровень участия эксперта предметной области, что приводит к большим затратам средств и времени. Разработка и исследование методов автоматизированной оценки качества онтологии с минимальным использованием эксперта предметной области является актуальной научно-технической задачей.

Теория анализа формальных понятий (FCA) является прикладной теорией решеток [1]. Она может использоваться в области обработки знаний [2].

Использование теории анализа формальных понятий позволяет оценить качество структуры знаний онтологии. Структура знаний представлена структурой отношений между терминами. Целью анализа разработанного подхода является полнота отношений онтологии.

Анализ в соответствии с подходом представляет собой несколько последовательных шагов.

1. Выбор типа отношения между терминами, который необходимо проанализировать. Разные типы отношений могут иметь разный вес в анализе.
2. Построение решеток понятий. По определенным отношениям между терминами онтологии строятся решетки понятий. Методы построения формального контекста и решетки понятий упоминаются в ряде работ, посвященных FCA [3].
3. Поиск несоответствий решетки и структуры отношений онтологии. На данном этапе могут использоваться разные методы анализа решетки понятий с целью оценки качества онтологии. Мы используем разработанные методы:

- метод оценки онтологии на основе сравнения фактической структуры отношений онтологии с решеткой понятий по данному типу отношений;
- метод оценки онтологии на основе отношений на дугах контекста.

4. Анализ результата (оценки). Данный анализ производится за счет эксперта. Ему на анализ поступают множества найденных несоответствий и выявленных скрытых зависимостей, а также результаты оценки по критериям методов анализа.

Каждый из предложенных методов позволяет рассмотреть структуру отношений с разных сторон. Объединение данных методов позволяет более полно проанализировать данную структуру.

Предложенный подход к анализу полноты отношений онтологии на основе решеток позволяет выявлять скрытые зависимости между терминами и предоставлять их эксперту для дальнейшей оценки. Таким образом, достигается автоматизация поиска возможных несоответствий онтологии и предметной области, что ускоряет работу эксперта, а также позволяет выявить скрытые знания, которые могут быть выведены из исходной структуры отношений онтологии.

Научный руководитель — к.т.н. Дамбаева С. В.

Список литературы

- [1] GANTER B., WILLE R. Formal Concept Analysis: Mathematical Foundations / Springer, 1999.
- [2] STUMME G., WILLE R., WILLE U. Conceptual Knowledge Discovery in Databases using Formal Concept Analysis // Proc. «European Symposium on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery». Berlin: Springer, 1998. P. 450–458.
- [3] STUMME G., CIMIANO P., HOTHO A., TANE J. Conceptual Knowledge Processing with Formal Concept Analysis and Ontologies // Proc. International Conference on Formal Concept Analysis. Berlin: Springer, 2004. P. 189–207.

3.30. Миков Л.С. Изучение динамики роста растительности с помощью радарных изображений Sentinel-1

В работе рассматриваются вопросы определения динамики роста растительности вблизи объектов угледобычи с помощью спутниковых радарных изображений. Описывается цепочка обработки, состоящая из следующих этапов [1]:

1. радиометрическая калибровка;
2. фильтрация спекл-шума;
3. топографическая коррекция;
4. преобразования значений в дБ.

Продемонстрирована обработка серии из 12 радарных изображений с космического аппарата Sentinel-1A/B за май-сентябрь 2017 года на территорию Бунгуро-чумышского месторождения Кузбасса [2].

Представлены промежуточные результаты обработки — RGB-композиции, состоящие из слоев с разной поляризацией (VV/VH/VV-VH), за конкретные даты и за весь период съемки. Кроме того, показаны итоговые результаты в виде графиков, отображающих изменения обратно рассеянного сигнала, которые напрямую связаны с ростом или угнетением растительности.

Список литературы

- [1] ESA ECHOES IN SPACE — LAND: CROP TYPE MAPPING WITH SENTINEL-1. [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/htmlWfRPh0> (дата обращения 20.04.2018)
- [2] SENTINELS DATA HUB. [Электронный ресурс]. URL: <https://scihub.esa.int/dhus> (дата обращения 20.04.2018)

3.31. Мишина В.И. Совершенствование деятельности организации на основе теории ограничений

Один из принципов нового стандарта ISO 9001:2015 подразумевает постоянное совершенствование деятельности организации. Предложить действенные методы реализации этого принципа может теория ограничений систем. Целью работы является анализ возможных способов совершенствования организации с помощью ТОС.

Актуальность темы обусловлена существованием жесткой рыночной конкуренции, которая приводит компании к необходимости постоянного поиска различных новых способов улучшения своей эффективности.

Теория ограничений систем — методология, разработанная Э. Голдраттом. Он сравнивает системы с цепями или совокупностью цепей. Прочность цепи определяется прочностью её самого слабого звена. Для определения и устранения слабого звена Э. Голдратт сформулировал пять последовательных шагов [1].

Инструменты представлены пятью видами логических деревьев и логическими правилами, определяющими их построение. Использование их как единого целого поможет ответить на три базовых управленческих вопроса о переменах: что изменять (дерево текущей реальности), на что изменять (диаграмма разрешения конфликтов и дерево будущей реальности), как осуществить перемены (дерево перехода, план преобразований) [2].

Основное внимание в работе уделяется использованию ДТР, которое применялось для решения проблем, возникших в одном из отделов предприятия, занимающегося автоматизацией технологических процессов. Были выявлены основные нежелательные явления, такие как значительное увеличение в ходе проекта его бюджета, недостаточная осведомленность менеджера проекта о ситуации на проекте и срыв сроков последующих этапов из-за невыполнения предыдущих этапов.

В заключение, следует отметить, что с помощью методологии теории ограничений осуществляется постоянное и непрерывное совершенствование организации. После снятия одного ограничения, определяется следующий элемент, сдерживающий работу системы, алгоритм повторяется еще раз, таким образом, данный цикл никогда не заканчивается.

Научный руководитель — доцент отделения контроля и диагностики Редько Л. А.

Список литературы

- [1] ДЕТМЕР Уильям Теория ограничений Голдратта: Системный подход к непрерывному совершенствованию / М.: Альпина Паблишер, 2012. 350 с.
- [2] ШРАГЕНХАЙМ Э. Теория ограничений в действии. Системный подход к повышению эффективности компании / М.: Альпина Паблишер, 2016. 286 с.

3.32. Мойзес Б.Б., Кириллова В., Спасенко В. Информационно-измерительные технологии при вибродиагностике технических систем

Актуальность развития информационно-измерительных технологий в современном мире неоспорима. Усложнение технических систем привело не только к удорожанию ремонта при их поломке, но и повышению вероятности причинения вреда оператору, вероятности появления больших чрезвычайных происшествий.

Перед разработчиками техники постоянно стоят задачи создания новой аппаратуры, а также специального программно-математического обеспечения (СПМО) для них. Большинство современных информационно-измерительных устройств специализированы [1], в чем заключается их:

- достоинство — глубокая диагностика определенного вида техники;
- недостаток — практическая невозможность их применения для диагностики другого вида оборудования.

В научном коллективе Томского политехнического университета разработан и успешно применяется мобильный диагностический комплекс «Виброрегистратор» и СПМО для него. Данный комплекс реализует функции сбора, обработки и представления информации в удобном для исследователей виде: временные и спектральные вибрационные диаграммы. Данный информационно-измерительный комплекс изначально предназначен для диагностики станочного оборудования (токарного, фрезерного, шлифовального и др.) [2].

Задача, поставленная в данном исследовании перед авторами, состояла в исследовании возможности применения комплекса для вибродиагностики испытательных стендов: гидравлического и механического.

Для решения данной задачи:

- разработаны и созданы сами стенды;
- проведены испытания.

Проведенные эксперименты позволили расширить диапазон диагностируемой техники мобильным комплексом и доказать актуальность разработанного СПМО.

Научный руководитель — к.т.н. Гаврилин А. Н.

Список литературы

- [1] ГАВРИЛИН А. Н., МОЙЗЕС Б. Б. Диагностика технологических систем. Часть 2: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. 128 с.
- [2] ИВАНОВ С. Е., ГАВРИЛИН А. Н., КОЗЫРЕВ А. Н., МОЙЗЕС Б. Б. Повышение эффективности фрезерной обработки путём снижения ударно-вибрационных нагрузок // Ползуновский вестник. 2018. № 1. С. 77–81.

3.33. Морозов К.С. Автоматическое определение тепловых утечек на тепловизионном изображении

Тепловизионный контроль утечек тепла из домов производят при разности температур внутри и снаружи дома не менее 20 градусов при стационарных условиях. Измерения могут занять много времени при некомфортной для оператора температуре. Для облегчения работы оператора предлагается алгоритм автоматического поиска тепловых аномалий (областей с повышенной температурой). Были поставлены следующие задачи:

1. Выделить на инфракрасном изображении фасада здания аномально теплые зоны.
2. Классифицировать выделенные области на окна и другие области, с целью исключения окон из списка аномальных утечек. Алгоритм выделяет аномальные области на общем виде здания.

Алгоритм основан на применении контурного подхода к обработке изображений и содержит следующие основные этапы:

1. для выделения контуров используются детектор границ Канни [1];
2. применяются морфологические операции для получения областей заливки с аномальными областями;
3. расчет средней яркости пикселей полученных областей;
4. по полученным результатам было решено автоматически классифицировать полученные области на две группы: окна и другие аномалии, с помощью анализа коэффициента заполнения и коэффициента эксцентриситета эллипса.

Для отработки алгоритма были произведены съемки нескольких зданий на тепловизионную камеру длинноволнового инфракрасного спектра (8–14 мкм) с неохлаждаемой матрицей микроболометров на основе аморфного кремния, разрешением 640 × 480.

Использование разработанного алгоритма в ПО «Matlab» позволило выделить аномальные зоны

на тепловизионных изображениях. С помощью классификации аномальных зон можно исключить из рассмотрения области изображения с окнами, которые не представляют интереса при поиске утечек. В дальнейшем планируется расширить число объектов для классификации (двери, различные формы окон).

Научный руководитель — д.т.н. Васюков В. Н.

Список литературы

- [1] CANNY, J. F. A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Trans. Pattern Recognition and Machine Intelligence. 1986. Vol. 8. N. 6. P. 679–698.

3.34. Мустафаев А.Г. Повышение безопасности передачи сообщений в сетях по протоколу CAN

Современные автомобили содержат огромное количество электронных устройств, связанных в единую локальную сеть, которая может вызвать интерес злоумышленника.

Шина CAN (Controller Area Network) конструктивно не имеет достаточных механизмов для защиты от атак или аномального поведения. Внедрение системы обнаружения вторжений является одним из наиболее эффективных способов повышения безопасности транспортного средства на небезопасном протоколе CAN-шины.

Поскольку CAN является самой важной и наиболее часто используемой системой автомобильной шины в настоящий момент, то предлагаемая концепция системы обнаружения вторжений для CAN объединяет эффективность подходов, основанных на сигнатурах и использованием алгоритмов машинного обучения.

Система обнаружения вторжений — это система, которая отслеживает сетевой трафик для обнаружения ненормального поведения и контента. В случае успешного обнаружения возникает тревога или запускается процедура предотвращения атаки. Исход в отношении правильности решения, принятого системой обнаружения вторжений, можно классифицировать:

1. True Positive — определяет активность как вторжение, активность на самом деле является вторжением;
2. True Negative — определяет активность как норму, и активность на самом деле нормальная;
3. False Positive — определяет активность как вторжение, но активность нормальная;
4. False Negative — определяет активность как норму, но активность является вторжением.

Исследователи и отраслевые эксперты рекомендуют использовать системы обнаружения вторжений для автомобильной CAN-коммуникации [1–3]. Однако есть одно принципиальное отличие по сравнению с классическими областями применения подобных решений в компьютерных сетях: внутримобиль-

ные сети используются в четко определенной среде в которой нет непредсказуемых факторов.

Например, все возможные сообщения по CAN, отправленные и полученные электронным блоком управления (ЭБУ), заранее определяются производителями автомобилей, чтобы гарантировать совместимость. Это означает, что имеется информация определяющая нормальное поведение системы CAN шин. Кроме того, автомобильная промышленность установила несколько стандартов, чтобы уточнить связь между ЭБУ в полужформальной форме, часто называемую коммуникационной матрицей. Эти спецификации включают сообщения, которые различаются на основе их идентификаторов и транспортируемой полезной нагрузки. Сама полезная нагрузка состоит из сигналов, каждый из которых представляет один переносимый элемент данных, например, скорость автомобиля, об/мин и др.

Для оценки точности предлагаемого метода, были подготовлены наборы данных реальных CAN-сообщений в сети автомобиля в режиме движения и парковки. Сохранялись следующие параметры сообщений: название канала; порядок байтов; тип данных; диапазоны данных; значение по умолчанию. Также были сгенерированы наборы данных с вредоносными сообщениями, моделируя типовые сценарии атак. Качество классификации оценивалось с использованием кривой ошибок ROC (AUC).

Список литературы

- [1] BIRNIE A., VAN ROERMUND T. A multi-layer vehicle security framework: Whitepaper, 2016 ed. NXP B.V., 2016.
- [2] HOPPE T., KILTZ S., DITTMANN J. Security threats to automotive can networks — practical examples and selected short-term countermeasures // Reliability Engineering & System Safety. 2011. Vol. 96. N. 1. P. 11–25.
- [3] STUDNIA I., NICOMETTE V., ALATA E., ET AL. Security of embedded automotive networks: state of the art and a research proposal // SAFECOMP 2013; Workshop CARS of the 32nd International Conference on Computer Safety, Reliability and Security, M. Roy, Ed., Toulouse, France, 2013.

3.35. Мустафаев А.Г., Амаров А.А. Проектирование системы обеспечения сетевой безопасности на основе искусственных нейронных сетей

Стремительное развитие и распространение глобальных и локальных сетей изменило вычислительные системы, которые стали более связанными и менее защищенными от злоумышленников, обладающих новыми возможностями для своих разрушительных целей. При этом от большинства злоумышленных действий, значительную часть которых составляют удаленные вторжения, можно защитить путем правильного использования совокупности организационных и технических мер. На сегодняшний день системы обнаружения вторжений

являются важным элементом комплексной системы защиты сетей как небольших, так и крупных организаций [1].

Целью работы является проектирование системы обнаружения вторжений, обладающей способностью адаптации к изменениям поведения вычислительной сети основанной на использовании аппарата искусственных нейронных сетей.

Для проектирования нейронной сети был использован пакет Neural Network Toolbox из MATLAB 8.6 (R2015b).

Данные для обучения нейронной сети были взяты из базы NSL-KDD, содержащей наборы данных о легальных сетевых соединениях и атаках. Данные о каждом соединении содержат 41 параметр и разделены на четыре категории, соответствующие типам угроз. Для повышения качества обнаружения и снижения числа ошибок второго рода было проведено редуцирование набора до 18 параметров [2–4]. Было сформировано оптимизированное подмножество параметров базы NSL-KDD.

Для обучения искусственной нейронной сети применялся алгоритм обратного распространения ошибки [5, 6]. Набор данных был разделен на три группы: для обучения, для тестирования и для подбора наиболее оптимального состояния системы (60 % записей использовалось для обучения системы, 20 % — тестирование, а 20 % — для валидации системы).

Результаты обучения и тестирования спроектированной нейронной сети показывают возможность её применения для решения задачи обнаружения сетевых компьютерных атак. Нейронная сеть правильно классифицирует активность в сети в 93 % случаев распознавая действия злоумышленника. Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что предложенная нейросетевая система с способностью высокой вероятностью распознавать сетевые атаки, при относительно небольшом числе ложных срабатываний. Исследуемое подмножество параметров позволило уменьшить число ошибок второго рода, а также ускорило процесс обучения нейронной сети. Обучая и тестируя искусственную нейронную сеть можно улучшить производительность системы обнаружения вторжений для выявления и классификации практически всех событий в системе. Однако обладая большим количеством преимуществ искусственная нейронная сеть требует времени и значительный объем данных для обучения, чтобы выдавать правильный результат. Для достижения лучших результатов можно использовать все 41 параметр из базы NSL-KDD.

Список литературы

[1] Ушаков Д. В. Развитие принципов функционирования систем обнаружения сетевых вторжений на основе модели защищенной распределенной системы: автореферат дис. кандидата технических наук. Моск. инж.-физ. ин-т., Москва, 2005. 24 с.

[2] SHRIVAS A. K., DEWANGAN A. K. An Ensemble Model for Classification of Attacks with Feature Selection based on KDD99 and NSL-KDD Data Set // International Journal of Computer Applications. 2014. Vol. 99. N. 15. P. 8–13.

[3] MUKHERJEE S., SHARMA N. Intrusion Detection using Naive Bayes Classifier with Feature Reduction // Procedia Technology. 2012. Vol. 4. P. 119–128.

[4] ИМАМВЕРДИЕВ Я. Н., СУХОСТАТ Л. В. Обнаружение аномалий в сетевом трафике на основе информативных признаков // Радиоэлектроника, информатика, управление. 2017. № 3. С. 113–120.

[5] ROJAS R. Neural Networks. A Systematic Introduction / Berlin: Springer-Verlag, 1996. 502 p.

[6] МУСТАФАЕВ А. Г. Нейросетевая система обнаружения компьютерных атак на основе анализа сетевого трафика // Вопросы безопасности. 2016. № 2. С. 1–7.

3.36. Никитин О.Ю., Лукьянова О.А., Карманов Д.А. Нейронные сети, основанные на автономных гомеостатических свойствах биологических нейронов: обзор и программная реализация

В работе изучается функционирование биологически вдохновленной нейронной сети с клеточным гомеостазом. Представлены модели биоподобного нейрона и синаптической пластичности, включающей клеточный гомеостаз. Модель гомеостаза нейрона основана на [1]. Сеть таких нейронов используется для задачи управления с множеством целей. Мы предлагаем модифицированное правило пластичности STDP [2], включающее зависимость от влияния входного сигнала на гомеостатическое состояние нейронов.

Предложенная сеть применяется к задаче управления поведением агента в стохастической среде со множеством целей. Для реализации экспериментов была разработана симуляционная среда на языке Java. Базой для экспериментальной среды была выбрана среда Greenfoot [3], обеспечивающая базовый функционал для разработки взаимодействия агента и мира, а также, визуализации, передвижения и взаимодействия других объектов этого мира. Важность различных аспектов подхода изучается на примерах частичного упрощения функций модели. Статистическое исследование проводилось для выяснения адаптивных свойств сети с различными уровнями гомеостатической пластичности [4]. Показано, что только полная модель, включающая как клеточный гомеостаз, так и гомеостатически зависимое правило коррекции веса, привело к появлению адаптивного поведения. Было показано, что модель обеспечивает адаптивное и надежное поведение для контролируемого агента. Показана важность моделирования взаимодействия входного сигнала и клеточного гомеостаза с целью воспроизведения биологически правдоподобного и адаптивного поведения агента.

Эксперименты произведены с использованием вычислительных ресурсов Центра коллективного пользования «Центр данных ДВО РАН». Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-31-00285).

Список литературы

- [1] Цитоловский Л. Е. Интегративная деятельность нервных клеток при записи следа памяти // Успехи физиол. наук. 1986. Т. 17. № 2. С. 83–103.
- [2] GERSTNER W., KEMPTER R., VAN HEMMEN J. L., WAGNER H. A neuronal learning rule for sub-millisecond temporal coding // Nature. 1996. Vol. 386. N. 6595. P. 76–78.
- [3] HENRIKSEN P., KÖLLING M. Greenfoot: combining object visualisation with interaction // Proc. Intern. Conf. «19th annual ACM SIGPLAN Conference on Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications». Vancouver, BC, Canada: ACM Press, 2004. P. 73–82.
- [4] NIKITIN O., LUKYANOVA O. Homeostatic Neural Network for Adaptive Control: Examination and Comparison // LNCS. 2018. Vol. 10994. P. 223–235.

3.37. Проницкий С.В., Лобанов И.А. Разработка научно-методических подходов к понижению размерности многопризнаковых объектов для обеспечения типизации отображения визуализируемых больших объемов данных

Методы понижения размерности предоставляют собой эффективное средство, позволяющее эффективно анализировать содержание больших объемов слабоструктурированной информации без существенных затрат времени. Понижение размерности — это задача сокращения объема информации с последующей типизацией, в которой сохранено наиболее важное исходное содержание [1]. Актуальность решения задачи понижения размерности обусловлена с одной стороны стремительным ростом информации, а с другой стороны необходимостью её быстрого и удобного анализа, в частности, обеспечения возможности анализа текстовой информации на смартфоне и смарт-планшете. Многие сервисы, такие как новостные порталы, блоги, сайты вопросов и ответов в настоящее время предоставляют множество полезных функций, инструментов, которые позволяют находить информацию, релевантную потребностям пользователей, используя понижение размерности больших массивов данных. Как правило, существует два подхода к понижению размерности многопризнаковых объектов, а именно извлечение [2] и абстракция [3]. В существующих методах понижения размерности многопризнаковых объектов основной проблемой является разреженность больших данных, поскольку совокупность многомерных объектов имеет сложную структуру, которую трудно анализировать. Эту проблему можно преодолеть, если использовать специальный способ представления многопризнаковых объектов,

основываясь на формализме мультимножеств [4], что позволяет одновременно учитывать все комбинации значений атрибутов, а также различное число значений каждого из них.

Типизация отображения визуализируемых больших объемов данных предлагается осуществлять используя эталонное мультимножество. В качестве признаков такого мультимножества могут выступать, например, в задачах обработки текста ключевые слова. Применительно к задачам обработки новостных потоков данных ключевые слова можно взять из названий публикаций. Поскольку зачастую название статьи представляет собой абстракцию всей статьи, аннотация статьи, предложения, похожие на заголовок, также могут стать признаками эталонного мультимножества. Новостные ленты обычно имеют дедуктивную структуру, таким образом их начальные предложения можно рассматривать в качестве признаков эталонного мультимножества.

Многопризнаковые объекты, представленные в виде мультимножеств, предлагается разделить на релевантные и нерелевантные по сходству с эталонным мультимножеством. На основе трех метрик вычисляется обобщенная характеристика близости к эталонному мультимножеству как свертка среднего значения и дисперсии трех метрик. Затем задается пороговое значение и на его основе мультимножества, удовлетворяющие ограничению, помечаются как релевантные, а остальные считаются нерелевантными. Предлагаемый подход позволяет нивелировать особенности исходных данных и открывает возможности для решения новых задач изучения больших объемов слабоструктурированной информации различной природы. Проведены вычислительные эксперименты, которые показали эффективность предлагаемого подхода.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 18-311-00267 и № 17-07-00444).

Список литературы

- [1] MANI I. Automatic Summarization / Amsterdam: John Benjamins Publishing Company, 2001. 324 p.
- [2] LI L., WANG D. Ontology Enriched Multi Document Summarization in Disaster Management // Proceedings of the 33rd International ACM-SIGIR Conference «Research and Development in Information Retrieval». Geneva: ACM Publ, 2010. Vol. 33. P. 425–432.
- [3] HIRAO T., YOSHIDA Y. Summarizing a document by trimming the discourse tree // Proceedings of the International IEEE Conference «Transactions on Audio, Speech and Language Processing». NY: IEEE Press, 2015. Vol. 26. P. 1238–1247.
- [4] ПЕТРОВСКИЙ А. Б. Пространства измеримых множеств и мультимножеств / М.: Поли Принт Сервис, 2016. 318 с.

3.38. Ромазанов А.Р. Мониторинг и моделирование теплового режима здания

Потребление тепловой энергии является значимой частью расходов, обусловленной спецификой занимаемых Россией территорий. Подача тепла производится согласно нормативам [1] и учитывает лишь наружную температуру и температуру, поддерживаемую в помещениях. Однако, системы теплоснабжения позволяют производить регуляцию в течение суток исходя из реальных потребностей в подаче теплоносителей без повреждения отопительных элементов и структуры здания.

Рассматривается задача разработки модели здания, позволяющей отслеживать изменения в температурном режиме. Подобная модель также позволит использовать полученные данные мониторинга для управления теплоснабжением исходя из параметров обозреваемого здания. Данный подход позволяет экономить энергию за счет контроля за температурным режимом. Представленные в работах [2,3] концепции использованы при разработке модели здания с учетом возможностей получения данных с датчиков температур и наличия подробного плана рассматриваемого здания. Для решения поставленной задачи предложена модель, описывающая внутренние помещения с точки зрения их расположения относительно рассматриваемого здания. Каждое помещение определяется набором стен и может содержать дополнительные объекты, влияющие на процессы теплообмена. Каждая стена описывается координатами двух точек, начала стены и ее конца. Коллекция помещений определяет модель здания. Также для выполнения мониторинга была предусмотрена классификация помещений [4]. Для моделирования и мониторинга разработаны соответствующие программные подсистемы. В качестве объекта для вычислительного эксперимента был выбран учебно-лабораторный корпус № 5 Тюменского государственного университета. На основе модели данного здания было выполнено моделирование температурного режима и классификация помещений в соответствии со сгенерированными показателями.

Предполагается, что полученные разработки будут использованы для системы управления теплоснабжением зданий.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Захарова И. Г.

Список литературы

- [1] СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Математическая модель регулирования объекта теплоснабжения. М.: Минрегион России, 2012. 75 с.
- [2] FIGUEIREDO J., DA COSTA J. S. A SCADA System for Energy Management in Intelligent Buildings // *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 49. P. 85–98.
- [3] Сучкова Л. И., Якименко Т. В., Хомутов О. И. Интеллектуальные контроллеры систем температур-

ного контроля и регулирования // Ползуновский альманах. 2007. № 3. С. 96–98.

- [4] ЗАХАРОВ А. А., ЗАХАРОВА И. Г., РОМАЗАНОВ А. Р., ШИРОКИХ А. В. Моделирование теплового режима и управление теплоснабжением помещений умного здания // *Вест. Тюменского гос. ун-та. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика*. 2018. Т. 4. № 2. С. 105–119.

3.39. Рылов С.А. Использование частичного обучения в иерархической кластеризации

Во многих практических задачах классификации данных процесс получения обучающей выборки (ОВ) зачастую требует значительных материальных и временных затрат [1], например, проведение полевых исследований на больших территориях для классификации спутниковых изображений. В таких случаях обучающая выборка может оказаться непредставительной, что ведет к неудовлетворительным результатам классификации.

В условиях недостаточно полной ОВ целесообразным является использование методов классификации с частичным обучением (semi-supervised learning) [2]. В процессе их работы для построения решающего правила используется информация, содержащаяся не только в помеченных (ОВ), но и в непомеченных (неклассифицированных) данных. Это позволяет повысить качество результатов классификации при малом объеме ОВ. Однако практическое использование существующих алгоритмов для больших массивов данных затруднено ввиду их высокой вычислительной трудоемкости и большого числа настраиваемых параметров [3].

В докладе предлагается новый вычислительно эффективный алгоритм классификации с частичным обучением, разработанный на основе иерархического сеточного алгоритма кластеризации НСА [4]. ОВ специальным образом учитывается на заключительном этапе построения иерархии. При этом обеспечивается, что непомеченные элементы данных соединяются с ближайшими по метрике помеченными элементами (ОВ), а элементы из разных классов не объединяются ни на одном уровне иерархии.

В результате получается иерархическое представление результата классификации, в котором помимо искомым классов также могут быть выделены и другие классы, не представленные в обучающей выборке. Высокая скорость работы алгоритма обеспечивает возможность его использования для сегментации спутниковых изображений. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают эффективность предлагаемого метода классификации в условиях обучающих выборок малого объема по сравнению с использованием алгоритмов классификации и кластеризации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-37-00492 мол_а).

Список литературы

- [1] ТРАВКИН О. И. Подходы к агрегации данных и извлечению факторов в задаче поиска мошенничества в банковских транзакциях // Тр. XVIII Междунар. Конф. «Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных». CEUR Workshop Proceedings, 2016. Т. 1752. С. 361–369.
- [2] JOTHI PRAKASH M., NITHYA L. M. A Survey on Semi-Supervised Learning Techniques // arXiv preprint arXiv:1402.4645. 2014.
- [3] WANG L. ET AL. Semi-supervised classification for hyperspectral imagery based on spatial-spectral label propagation // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2014. Vol. 97. P. 123–137.
- [4] ПЕСТУНОВ И. А., РЫЛОВ С. А., БЕРИКОВ В. Б. Иерархические алгоритмы кластеризации для сегментации мультиспектральных изображений // Автоматизация. 2015. Т. 51. № 4. С. 12–22.

3.40. Савченко В.С., Кармазин В.Н. Разработка приложения по оценке деловых качеств сотрудников на основе их профилей в социальной сети ВКонтакте

Релевантная информация из профилей пользователей в социальных сетях является ценным ресурсом для повышения надежности различных бизнес-процессов, таких как подбор персонала, кредитование физических лиц и многих других. В работе решалась задача автоматической оценки «Большой Пятерки» черт личности и характеристик пользователей социальных сетей на примере показателей: статус отношений, главное в жизни, главное в людях, политические взгляды во ВКонтакте. Нами разработан программный продукт RESTful API для обработки естественного языка, обучения моделей, сбора данных и классификации пользователей ВКонтакте.

Были выбраны следующие источники данных:

1. Идентификаторы сообществ, в которых состоит пользователь ВКонтакте.
2. Соединенные тексты записей на стене пользователя за последние 5 лет и соответствующие тексты из истории репостов.
3. Идентификаторы сообществ — авторов репостов, если глубина истории репостов равна 1.

Для обработки естественного языка нами была построена модель автоматической разметки токенов IOB тэгами с точностью ≈ 0.89 . Полный цикл выделения признаков из исходного текста включает следующие возможные этапы: нормализация кодировки, разбиение на предложения, токенизация, разметка токенов POS-тегами, выделение лемм, N -грамм, фраз, символьных N -грамм, форм слов (например, начинается ли токен с большой буквы, является ли он числом и т. д.), выбор признаков с наиболее высокими значениями χ^2 -статистики, вычисляемой для каждого признака и метки класса [1]. Также была обучена модель Stanford Named Entity

Recognizer [2] распознавания именованных сущностей, со средними взвешенными точностью и полнотой Precision ≈ 0.9036 , Recall ≈ 0.9087 . Исходные данные нами были собраны из 3024 страниц сайта ria.ru.

Для обучения моделей оценки показателей «статус отношений», «главное в жизни», «главное в людях», «политические взгляды» использовался дополнительный наивный алгоритм Байеса. В результате кросс-проверки по 20 блокам были получены следующие значения метрик эффективности: для показателя «главное в жизни» Precision ≈ 0.5017 , Recall ≈ 0.5223 ; для «главное в людях» Precision ≈ 0.4919 , Recall ≈ 0.5407 ; для «статус отношений» Precision ≈ 0.5358 , Recall ≈ 0.5261 ; для «политические взгляды» Precision ≈ 0.4453 , Recall ≈ 0.5461 .

Для построения моделей оценки «Большой Пятерки» черт личности нами были использованы алгоритм распространения меток и CART алгоритм регрессионного дерева принятия решений. В результате кросс-проверки по 5 блокам были получены следующие значения метрик риска: для уровня нейротизма MSE ≈ 3.50 ; для уровня экстравертности MSE ≈ 2.81 ; для уровня открытости MSE ≈ 2.67 ; для уровня доброжелательности MSE ≈ 2.42 ; для уровня добросовестности MSE ≈ 2.54 .

Список литературы

- [1] MANNING C., SCHUETZE H. Collocations // Foundations of Statistical Natural Language Processing. Cambridge. 1999. P. 169–172.
- [2] FINKEL J. R., GRENAGER T., MANNING C. Incorporating Non-local Information into Information Extraction Systems by Gibbs Sampling // Proc. Intern. Conf. «43rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL 2005)». Ann Arbor, Michigan: Association for Computational Linguistics, 2005. P. 363–370.
- [3] САВЧЕНКО В. С., КАРМАЗИН В. Н. Применение обработки естественного языка для построения моделей оценки Большой Пятерки черт личности и характеристик пользователей социальных сетей // Тр. Междунар. Конф. «Роль науки в современном мире». Стерлитамак: АМИ, 2018. Т. 1. С. 86–90.

3.41. Сотников И.Ю., Завозкин С.Ю. Механизм создания вычислительных сервисов для инженерного вычислительного портала

В Кемеровском государственном университете для решения научных и инженерных задач разрабатывается инженерный вычислительный портал (ИВП). Целью данного портала является предоставление сервисов для проведения вычислительных экспериментов, взаимодействия с высокопроизводительными вычислительными ресурсами, а также предоставление образовательных сервисов.

Вычислительные сервисы описываются на языке моделирования бизнес-процессов BPMN. Преимуществом данного подхода является то, что он не тре-

бует навыков программирования. Весь процесс создания представляет собой работу с диаграммой, состоящей из элементов трех типов, различаемых по функциям:

- взаимодействие с файловым хранилищем пользователя. Хранилище содержит входные файлы и результаты выполнения сервиса (видео, изображения, 3D-модели и пр.);
- взаимодействие с программным обеспечением (вычислительные пакеты, утилиты для конвертации данных);
- предоставление Web-формы для ввода пользователем входных данных и вывода результатов выполнения сервиса.

На текущий момент вычислительные сервисы создаются вручную. Планируется реализовать механизм автоматической генерации сервисов. Данный механизм будет представлен в виде опросной системы. В процессе прохождения опроса будет формироваться новый бизнес-процесс.

В случае, если для решения задачи клиента отсутствуют подходящие средства (программное обеспечение или вычислительные ресурсы), в процесс создания вычислительного сервиса вовлекаются эксперты. Задача экспертов — стать связующим звеном между клиентом, которому требуется решить некоторую задачу, и специалистами, которые знают, как и с помощью чего эту задачу решить. В ИВП реализован механизм взаимодействия с экспертами. Также, пользователям доступен стандартный механизм поиска по ключевым словам среди уже реализованных сервисов.

Механизм создания вычислительного сервиса в виде бизнес-процесса на языке BPMN апробирован при реализации сервиса для решения задачи о затоплении шахты. В дальнейшем планируется расширить список вычислительных сервисов.

Научный руководитель — д.т.н. Гудов А. М.

3.42. Толстухин А.А. Модификация алгоритма серых волков для управления группой подводных аппаратов при решении задачи обследования физического поля

Несмотря на то, что водой покрыто примерно 70% Земли, на данный момент исследовано менее 5% гидросферы. Использование субмарин и управляемых подводных аппаратов при изучении Мирового океана не эффективно по причине высокой потребности в человеческих ресурсах. Таким образом, использование автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) становится все более популярным направлением в данной сфере [1].

АНПА, в зависимости от установленного оборудования, могут выполнять различные классы задач: картографирование морского дна, поиск и идентификация объектов, патрулирование акваториальных границ и др. Очевидно, что эффективность их выпол-

нения существенно повышается при использовании скоординированной группы автономных аппаратов. Таким образом, именно организация коллективного управления АНПА представляет на данный момент особый практический интерес.

Одной из важных задач при исследовании морских акваторий является задача обследования физических полей и поиска аномалий (областей с экстремальными значениями). Особенностью задачи является ряд пространственно-временных ограничений, обусловленных неопределенностью внешних условий, а также необходимостью обеспечения коммуникационного обмена внутри группы.

Целью данной работы является модификация алгоритма серых волков (GWO) для организации поиска аппаратами региона с максимальной концентрацией неких веществ или максимальной величиной поля в пределах заданной области.

GWO — это мета-эвристический алгоритм, разработанный С. Мирджалили и А. Льюисом в 2014 году [2]. Он относится к классу роевого интеллекта, описывающих коллективное поведение децентрализованной самоорганизующейся системы. Согласно результатам серии вычислительных экспериментов на наборе стандартных тестовых задач, проведенных Гуансийским университетом по делам национальностей, алгоритм не уступает, а на отдельных задачах и превосходит большинство других популярных эвристических алгоритмов многомерной оптимизации. Структура GWO позволяет естественным образом применить его в качестве алгоритма генерации траекторий движения группы АНПА, а малое количество данных, которое необходимо знать каждому агенту о состоянии выполнения миссии, способствует облегчению коммуникационного процесса.

В рамках данного исследования преследуются три цели:

- адаптация оригинального алгоритма под ограничения, накладываемые природой АНПА;
- увеличение точности поиска экстремума;
- сокращение времени, необходимого для нахождения экстремума.

В рамках данного исследования было достигнуто двукратное увеличение скорости обследования физического поля, сопровождающееся незначительной потерей точности нахождения области с максимальной величиной поля. Таким образом, можно сделать вывод о том, что алгоритм серых волков пригоден для использования группой АНПА при решении широкого спектра реальных задач.

Список литературы

- [1] КИСЕЛЕВ Л. В. Управление движением автономного подводного робота при траекторном обследовании физических полей океана // Автоматика и телемеханика. 2009. Т. 70. № 4. С. 141–148.

- [2] MIRJALILI S., LEWIS A. Grey Wolf Optimizer // Advances in Engineering Software. 2014. Vol. 69. N. 1. P. 4–61.

3.43. Урманцева Н.Р. Задача реконструкции 3D-модели системы нижней полой вены по результатам бесконтрастной магнитно-резонансной флебографии

Нарушение венозного оттока из нижних конечностей, как правило, протекающее в форме хронической венозной недостаточности — самая часто встречающаяся патология сосудов у человека [1]. Особенно тяжело протекает данное заболевание после перенесенного ранее тромбоза магистральных вен брюшинного пространства — нижней полой и подвздошных вен.

В настоящий момент назрело переосмысление существующих концепций венозного оттока от нижних конечностей. Учитывая современные достижения вычислительной техники и математики, наиболее эффективным аппаратом исследования представляется математическое моделирование, а разработка эффективных методов моделирования является актуальной задачей.

В конце XIX века Roux W. описал эмпирические правила ветвления кровеносных сосудов, исходя из их функционального приспособления. Murray C.D. в 1926 г. [2] описал эмпирические правила Roux W. языком математики. Принцип оптимальности, предложенный Мюрреем, сводится к минимизации затрат энергии и материала для выполнения кровеносной системой своих функций. Применительно к артериям, геометрическое построение узлов ветвления сосуда, в соответствии с принципом оптимальности, подтвержден многими авторами [2, 3].

Между тем, для венозной части кровообращения, где происходит слияние потоков крови, таких работ практически нет. Однако, по мнению авторов, соблюдение принципа минимальных затрат для вен не менее, а может, и более важно, чем для артерий. Это связано с тем, что в венах более низкие скорости кровотока, любое повышение сопротивления которому может еще более его замедлить. Существует нижний предел скорости, при достижении которого резко увеличивается риск тромбоза вен.

Между тем, необходимо учитывать, что слияние вен, как и деление артерий, происходит в разных плоскостях. Поэтому правильное определение углов слияния/ветвления может обеспечить только работа с трехмерным изображением. Для этой цели была создана 3D-модель слияния подвздошных вен с нижней полой веной, на основе результатов МР-флебографии, алгоритм и математическая модель, используемая при реконструкции вен по их сечениям (представлены в работе [4]).

Научный руководитель — д.м.н. Мазайшвили К. В.

Список литературы

- [1] ZOLOTUKHIN I., SELIVERSTOV E., SHEVTSOV Y. ET AL. Prevalence and Risk Factors for Chronic Venous Disease in the General Russian Population // Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg. 2017. Vol. 54. N. 6. P. 752–758.
[2] MURRAY C. The physiological principle of minimum work applied to the angle of branching of arteries // J. Gen. Physiol. 1926. Vol. 9. N. 6. P. 835–841.
[3] МАЗАЙШВИЛИ К.В., КЛИМОВА Н.В., ДАРВИН В.В. и др. Возможности магнитно-резонансной флебографии при посттромботической патологии нижней полой вены и подвздошных вен // Вестник СурГУ. Медицина. 2017. Т. 34. № 4. С. 11–16.
[4] УРМАНЦЕВА Н.Р., ДЕВИЦЫН И.Н., МАЗАЙШВИЛИ К.В. О задаче реконструкции 3D-модели системы нижней полой вены по результатам бесконтрастной магнитно-резонансной флебографии // Вестник кибернетики. 2017. № 4 (28). С. 133–140.

3.44. Фереферов Е.С., Шигаров А.О., Гаченко А.С. Управление жизненным циклом данных 3D-оцифровки и моделирования объектов культурного и исторического наследия

В последние годы цифровые технологии стали широко применяться в проектах, направленных на сохранение культурно-исторического наследия. В основном такие проекты обеспечивают оцифровку экспонатов и памятников с целью их последующей интерактивной визуализации и публикации в Вебе, например, виртуальная выставка музея египетской археологии Питри, цифровой архив всемирных объектов наследия для сохранения и образования CyArk, виртуальный 3D-музей «Древнее искусство Сибири».

К настоящему моменту в применении 3D-технологий для сохранения культурно-исторического наследия решено много задач: разработаны эффективные инструменты и методы 3D-оцифровки, технологии и программные средства 3D-моделирования и визуализации, оборудование для 3D-печати. Сегодня отмечается интенсивный рост объема 3D-данных. При этом практически не уделяется внимание комплексному управлению жизненным циклом таких данных, начиная с 3D-сканирования и оцифровки, через организацию их хранения, каталогизацию, изучения, аннотирования, заканчивая представлением, веб-публикацией и 3D-печатью.

В работе рассматривается концепция информационной технологии управления жизненным циклом данных 3D-оцифровки и моделирования объектов культурного и исторического наследия с использованием прогрессивных техник и уникальных инструментов 3D-сканирования и фотограмметрии. Концепция охватывает вопросы сбора, каталогизации, распределенного хранения и архивации данных об объектах культурного наследия, а также формирования 3D-объектов на основе 2D-изображений для слабовидящих людей.

Разрабатываемая технология задействует мощности ЦКП ИИВС ИРНОК и «Умной лаборатории» Института информационных и коммуникационных технологий Болгарской академии наук.

3.45. Харечкин П.В., Науменко В.В. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций в режиме реального времени

В настоящее время для предотвращения чрезвычайных ситуаций (ЧС), а также снижения ущерба от последствий воздействия их источников природного и техногенного характера, используются технологии прогнозирования опасных явлений и процессов. Технологии прогнозирования чрезвычайных ситуаций можно разделить на технологии долгосрочного прогнозирования и технологии краткосрочного прогнозирования, базирующиеся на расчетных моделях, входными данными которых являются данные измерительных датчиков, дистанционного зондирования Земли и аэрофотосъемки.

Авторами предлагается методика прогнозирования чрезвычайных ситуаций в режиме реального времени, позволяющая повысить точность и достоверность результатов прогнозирования любой расчетной модели ЧС. Предлагаемая методика включает в себя пять этапов обработки измерительных данных.

На первом этапе методики производится сбор первичных данных с различных измерительных датчиков и систем мониторинга. На втором этапе производится выявление недостоверных данных с использованием методов корреляционного анализа [1]. Необходимость выявления недостоверных данных связана с возможностью искажения измерительной информации вследствие того, что сбор данных зачастую производится от удаленных систем без возможности контроля их исправности. На третьем этапе производится прогнозирование коротких временных рядов полученных значений от измерительных датчиков с использованием разработанного уточненного метода Брауна [2]. Полученные данные прогнозирования позволяют отследить тенденцию изменения измеряемой величины и предупредить выход за пределы допустимых значений. На четвертом этапе производится моделирование ЧС или последствий аварии в соответствии с базовыми расчетными моделями и текущими измерительными данными и прогнозируемыми первичными данными. На пятом этапе производится визуализация результатов моделирования, в результате которой строится графическая ситуационная модель, отображающая на карте зоны действия ЧС — полигоны, в которой отдельными слоями отображаются текущие и прогнозируемые (для различных временных интервалов) зоны ЧС.

Использование данной методики при создании программных комплексов ситуационного управления поможет реализовать интерфейс на базе геоинфор-

мационной системы, позволяющий в интерактивном режиме отображать на карте текущие и прогнозируемые зоны действия ЧС (полигоны) в зависимости от меняющихся входных измерительных данных, получаемых от датчиков и внешних систем мониторинга. В настоящее время компанией ООО «Инфоком-С» ведутся работы по созданию программного комплекса ситуационного управления, реализующего предсказательное моделирование развития аварийных ситуаций и поддержку принятия ситуационных решений, в рамках которого будет применена данная методика.

Работа выполнена в рамках ПНИЭР «Разработка средств высокоскоростной обработки данных информационных сенсоров в системах ситуационного управления» (ФЦПР 2014–2020, № RFMEFI57916X0135) при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Научный руководитель — д.т.н. Копытов В.В.

Список литературы

- [1] КОПУТОВ В.В., ХНАРЕЧКИН П.В., НАУМЕНКО В.В. ET. AL. Real-time emergency forecasting technique for situation management systems // Proc. Intern. Conf. «Information Technologies in Business and Industry 2018». Russian Federation, Tomsk: Journal of Physics: Conference Series, 2018. Vol. 1015. P. 1–6.
- [2] КОПУТОВ В., ПЕТРЕНКО В., ТЕВУЕВА Ф. ET. AL. An improved Brown's method applying fractal dimension to forecast the load in a computing cluster for short time series // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9 (19). P. 1–9.

3.46. Харлампенков И.Е. Применение электронных карт для построения аналитических отчетов

Для обеспечения взаимодействия элементов слоя с пользователем предложен механизм отображения пространственных данных через комбинацию протоколов WMS и WFS [1].

В процессе настройки карты через библиотеку OpenLayers [2] одновременно создается два слоя для каждого стандарта, но отображается только растровый вариант.

Переключение на второй стандарт происходит только после запуска аналитического модуля. В этом случае геоданные отправляются сервером и принимаются клиентом в векторном формате и наносятся на карту как интерактивные элементы. Для сохранения единого стиля оформления разработана процедура получения SLD-файлов [3] от картографического сервера, их декодирования и преобразования в объекты библиотеки OpenLayers, отвечающие за визуализацию. При смене источников данных слоя предусмотрено сохранения состояния его видимости в приложении. Данное решение реализовано в Интегрированной информационно-вычислительной системе динамической оценки экологического состояния угледобывающих районов [4]

в сводном отчете по водным ресурсам, позволяющим выбирать точки отбора проб для формирования таблиц и графиков, отражающие состав и концентрацию загрязняющих веществ, по трем слоям (точки отбора снеговых и дождевых проб, скважины отбора подземных вод и точки отбора поверхностных вод).

Рассмотрен вопрос применения электронных карт для выбора объектов при построении аналитических отчетов. Созданный компонент позволяет уменьшить нагрузку на браузер пользователя при сохранении гибкости работы с объектами на карте.

Список литературы

- [1] OGC Standards and Supporting Documents — каталог международных стандартов. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.opengeospatial.org/standards> (дата обращения 10.09.2018).
- [2] FARKAS G. Mastering OpenLayers 3 / Birmingham: Packt Publishing, 2016. 308 p.
- [3] LUPP M. Styled Layer Descriptor profile of the Web Map Service Implementation Specification. [Электронный ресурс]. URL: http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=22364 (дата обращения 10.09.2018).
- [4] Устинов В.В., Потапов В.П., Счастливец Е.Л. и др. Информационно-вычислительная система экологической безопасности ООО «Сибэнергоуголь»: подходы, методы, модели // Уголь. 2018. № 3. С. 84–90.

3.47. Червонецкий Д.Н. Реализация алгоритмов решения задач магнитостатики с использованием технологии CUDA

Данная работа посвящена ускорению решения задач магнитостатики посредством использования технологии параллельного программирования с использованием библиотеки CUDA на GPU. Для решения интегралов, которые применяются в задачах магнитостатики для вычисления магнитного поля токовых обмоток в однородном пространстве, был использован метод граничных элементов [1].

При решении задач магнитостатики с помощью метода граничных элементов, основное время затрачивается на подсчет коэффициентов системы линейных уравнений, вычисление которых может выполняться независимо, поэтому решение данной прикладной задачи с использованием технологии CUDA с распараллеливанием алгоритма позволило существенно сэкономить время выполнения на входных данных больших размерностей.

Потенциал параллелизма в численном интегрировании граничных элементов связан с разделением вычислений этих элементов на отдельные потоки. Цикл по всем элементам можно разбить и выполнить на столько ядер, сколько есть элементов. Один поток вычисляет значение интеграла для конкретного элемента, используя регистровую память для повышения производительности. Расчеты для разных элементов практически независимы.

Следовательно, численное интегрирование методом граничных элементов идеально подходит как параллельный алгоритм для GPU.

При выполнении работы была разработана библиотека для численного решения интегралов. Библиотека была написана на языке Си с использованием технологии CUDA.

В результате проведения сравнительного анализа экспериментально получены временные характеристики для реализации алгоритма с применением CUDA для различного количества граничных элементов, которые показывают, что максимальное ускорение вычислений по сравнению с выполнением на CPU достигается при работе с данными большой размерности. На основе проведенных исследований были сделаны выводы о целесообразности использования графического процессора для распараллеливания решения вычислительных задач рассмотренного класса.

Научный руководитель — к.т.н. Ступаков И. М.

Список литературы

- [1] Ступаков И. М. Разработка алгоритмов решения задач магнитостатики с использованием метода граничных элементов: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, 2016. С. 20–22.

3.48. Чернышова Ю.С., Проничкин С.В. Разработка математического и программного обеспечения для выявления спектра перспективных направлений научно-технического развития

Возрастание роли научных знаний и современных технологий в обеспечении устойчивого социально-экономического развития стран, усилении их конкуренто- и обороноспособности, сопровождается увеличением сложности и ресурсоемкости новых исследований и разработок. Интенсификация производства и использования новых научно-технических результатов предопределила резкое сокращение инновационного цикла, ускорение темпов обновления продукции и технологий, при этом особую актуальность приобретают методы и средства анализа научной информации.

Существующие подходы [1] в качестве входных показателей используют количественные индикаторы, а экспертные оценки переводятся в баллы с последующим усреднением. Таким образом, используется так называемый количественный подход. Несмотря на кажущуюся простоту и очевидность, количественный подход мало пригоден для работы со слабоструктурированными характеристиками научно-технологического потенциала страны. Как показывает практика применения количественных моделей [2], они являются слишком упрощенными для определения тенденций научно-технологического развития и зачастую приводят к нереальным предположениям.

В качестве научно-методического подхода к многокритериальному анализу состояния и тенденций развития научных исследований предлагается использовать метод многоуровневых информационно-логических структур (МИЛС) [3]. Для проведения концептуального анализа состояния и тенденций развития научных исследований предлагается следующая модель предметной области, которая представлена в виде нескольких концептов различного типа: глобальные цели национальной научно-технологической политики (НТП); перечень системных проблем, препятствующих достижению целей НТП; перечень средств, направленных на решение системных проблем. Разработаны полные списки всех критериев каждого уровня.

При применении метода МИЛС необходимо построить решающие правила на каждом уровне иерархии. Для решения этой задачи предлагается использовать метод ПАКС [4], при этом решающие правила конструируются с помощью разных комбинаций методов вербального анализа решений. Такой подход позволяет нивелировать влияние разных критериальных характеристик на выбор оптимального сочетания объектов «цель — проблема — средство». Разработано математическое и программное обеспечение для выявления спектра перспективных направлений научно-технического развития. Проведено исследование разработанного инструментария, которое позволило выявить ограничения предложения и спроса на новые знания.

Использование разработанного инструментария позволяет исследовать инновационные процессы в рамках единой инновационной системы, взаимосвязанных целей и средств их достижения при производстве, использовании и диффузии научного знания.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 18-311-00279 и № 17-06-00237).

Список литературы

- [1] REID A., WALENDOWSKI J. Innovation policy in candidate countries / Brussel: ADE Press, 2014. 426 p.
- [2] WILSON K. An investigation of dependence in expert judgement studies with multiple // International Journal of Forecasting. 2016. Vol. 33. P. 278–289.
- [3] ЛАРИЧЕВ О. И. Вербальный анализ решений / М.: Наука, 2006. 324 с.
- [4] PETROVSKY A., ROYZENSON G. Multi-stage technique PAKS for multiple criteria decision aiding // International Journal of Information Technology and Decision Making. 2013. Vol. 12. P. 134–142.

3.49. Ярещенко Д. И. Моделирование дискретно-непрерывных процессов со стохастическими зависимыми компонентами вектора выхода

Рассматривается задача идентификации дискретно-непрерывных систем в условиях непараметрической неопределенности (ситуация, когда парамет-

рическая структура модели исследуемого процесса неизвестна с точностью до вектора параметров из-за недостатка априорной информации). При этом следует иметь в виду, что сам процесс протекает непрерывно во времени, но контроль его переменных осуществляется в дискретные моменты времени. Основной акцент будет сделан на случай, когда выходные компоненты процесса стохастически зависимы. Это неизбежно приводит к тому, что объект может быть описан в виде неявных функций. В случае, если связь между выходными компонентами неизвестна с точностью до параметров, то такая задача не охвачена ныне существующей теорией идентификации [1]. Моделировать подобный процесс нужно некоторым специальным образом, который и составляет основное содержание доклада.

При таких априорных условиях модель подобного процесса будем называть T -процессом. T -процесс не может быть построен в обычной терминологии, а представляет собой некоторую цепочку соответствующих соотношений. В качестве математической основы используется непараметрические оценки Надарая — Ватсона. Таким образом, на основании обучающей выборки наблюдений входных-выходных переменных процесса предлагается определенная процедура, позволяющая получить прогноз значений векторной выходной переменной процесса при известных значениях входа. При этом приводятся рекомендации по настройке соответствующих алгоритмов [2].

Проведены достаточно объемные вычислительные эксперименты по моделированию T -процессов. При этом для экспериментов было взято 5 входных и 3 выходных переменных. Параметрическая зависимость о последних отсутствовала. Была сформирована экзаменующая выборка, которая и была положена в основу численного исследования соответствующего процесса. В вычислительных экспериментах были использованы обучающие выборки различных объемов и при различном уровне помех, действующих на входные-выходные переменные исследуемого процесса. Как показали результаты вычислительных экспериментов, рассматриваемые в докладе T -модели оказались достаточно эффективными [3]. Приведены некоторые результаты применения T -моделей для задачи каталитической гидродепарафинизации на нефтеперерабатывающем заводе.

Список литературы

- [1] Эйкофф П. Основы идентификации систем управления / М.: Мир, 1975. 680 с.
- [2] Медведев А. В. Основы теории адаптивных систем / Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. 2015. 526 с.
- [3] Медведев А. В., Ярещенко Д. И. О непараметрической идентификации T -процессов // Сибирский журнал науки и технологий. 2018. Т. 19, № 1. С. 37–44

Алфавитный указатель

Аверьянов Евгений Александрович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
euav@ya.ru
Стр. 10

Азанов Андрей Андреевич

*Институт математики СФУ (Красноярск),
Россия*
andreiazanov@mail.ru
Стр. 10

Акулов Андрей Евгеньевич

*Институт цитологии и генетики СО РАН (Но-
восибирск), Россия*
Стр. 52

Александров Александр

*Омский государственный университет путей
сообщения (Омск), Россия*
alexandrov_a_V@mail.ru
Стр. 54

Амаров Абдулмалик Амарович

*Дагестанский государственный университет
народного хозяйства (Махачкала), Россия*
Стр. 73

Ананьева Надежда

*Омский государственный университет путей
сообщения (Омск), Россия*
Стр. 54

Антонов Андрей Николаевич

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
СО РАН (Новосибирск), Россия*
Toshikk1996@yandex.ru
Стр. 11

Барахнин Владимир Борисович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
bar@ict.nsc.ru
Стр. 7

Батуев Станислав Павлович

*Томский государственный архитектурно-строи-
тельный университет (Томск), Россия*
Стр. 37

Бафоев Раббони Негматуллоевич

*Московский физико-технический институт (Дол-
гопрудный), Россия*
rnbafoev@mail.ru
Стр. 54

Башкирова Александра Алексеевна

*Кемеровский государственный университет (Ке-
мерово), Россия*
sa.bashkirova@ya.ru
Стр. 48

Беденко Ксения Владимировна

*Институт динамики систем и теории управле-
ния имени В.М. Матросова СО РАН (Иркутск),
Россия*
bedenko@icc.ru
Стр. 55

Беликова Марина Юрьевна

*Горно-Алтайский государственный университет
(Горно-Алтайск), Россия*
BelikovaMY@yandex.ru
Стр. 56

Белова Елена Юрьевна

*Санкт-Петербургский государственный элект-
ротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург),
Россия*
eyshukeylo@gmail.com
Стр. 56

Белоглазов Игорь Юрьевич

*Самарский государственный технический универ-
ситет (Самара), Россия*
belazer89@mail.ru
Стр. 57

Белькова Татьяна Анатольевна

*Томский политехнический университет (Томск),
Россия*
xeroxramler@mail.ru
Стр. 11

Беляев Василий Алексеевич

*Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН (Новосибирск),
Россия*
belyaevasily@mail.ru
Стр. 11

Бериков Владимир Борисович

*Институт математики им. С.Л. Соболева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
berikov@math.nsc.ru
Стр. 7

Бобков Егор Александрович

*Южно-Уральский государственный университет
(Челябинск), Россия*
wolfelder@mail.ru
Стр. 41, 45, 58

Бойко Андрей Владиславович

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

Стр. 13

Бондарева Любовь Васильевна

*Кемеровский государственный университет (Ке-
мерово), Россия*

l.v.kemerova@mail.ru

Стр. 12

Борзенко Евгений Иванович

*Томский государственный университет (Томск),
Россия*

Стр. 47

Борзилова Юлия Сергеевна

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*

borzilova.ys@gmail.com

Стр. 58

Будько Валентина Максимовна

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

budko.valia@yandex.ru

Стр. 49

Бурмистров Александр Васильевич

*Институт вычислительной математики и ма-
тематической геофизики СО РАН (Новосибирск),
Россия*

burm@osmf.sccc.ru

Стр. 12

Ванина Влада Сергеевна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*

vlada.vanina@mail.ru

Стр. 13

Васеева Татьяна

*Омский государственный университет путей
сообщения (Омск), Россия*

Стр. 54

Васильев Даниил Андреевич

*Томский государственный архитектурно-
строительный университет (Томск), Россия*

Стр. 37

Вождаева Дарья Александровна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*

daria-vozhdaeva@yandex.ru

Стр. 13

Вьюнник Наталья Михайловна

*Кемеровский государственный университет (Ке-
мерово), Россия*

kot.gerasim@yandex.ru

Стр. 14, 59

Вяткин Александр Владимирович

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*

vyatkin@icm.krasn.ru

Стр. 14

Вяткин Антон Станиславович

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (ФИЦ КНЦ СО РАН) (Красноярск),
Россия*

Стр. 14, 24

Гарагулова Анастасия Керимовна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*

akgaragulova@gmail.com

Стр. 15

Гаченко Андрей Сергеевич

*Институт динамики систем и теории управле-
ния имени В.М. Матросова СО РАН (Иркутск),
Россия*

gachenko@icc.ru

Стр. 8, 79

Герасимова Ольга Сергеевна

*Институт вычислительных технологий СО РАН,
кемеровский филиал (Кемерово), Россия*

gos-kem@mail.ru

Стр. 59

Герасимова Юлия Андреевна

*Поволжский государственный университет теле-
коммуникаций и информатики (Самара), Россия*

gerasimova.ju@yandex.ru

Стр. 16

Глушко Татьяна Александровна

*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН
(Новосибирск), Россия*

ta-savvateeva@yandex.ru

Стр. 17

Гологуш Татьяна Сергеевна

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

tatiana_06.08@mail.ru

Стр. 17

Горюнова Ольга Александровна

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург),
Россия
Стр. 56

Гудковских Сергей Владимирович

Институт криосферы Земли СО РАН (Тюмень),
Россия
sergei121290@gmail.com
Стр. 18

Гусев Олег Игоревич

Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия
gusev_oleg_igor@mail.ru
Стр. 18

Данилкин Евгений

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

Данилов Максим Николаевич

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Новосибирск),
Россия
danilov@sibstrin.ru
Стр. 19

Дмитриев Владислав

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета (Стерлитамак), Россия
admwell@yandex.ru
Стр. 20

Добролюбова Дарья Владимировна

Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск),
Россия
Стр. 50

Дородных Никита Олегович

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН (Иркутск),
Россия
tualatin32@mail.ru
Стр. 60

Дудаев Александр Русланович

Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия
Dudaev.Sasha@live.ru
Стр. 60

Дьякова Ольга Алексеевна

Томский государственный университет (Томск),
Россия
olga.dyakova.1992@mail.ru
Стр. 20

Егоров Илья Александрович

Белгородский государственный университет (Белгород), Россия
888615@bsu.edu.ru
Стр. 61

Егоров Юрий Алексеевич

Тюменский государственный университет (Тюмень), Россия
yurij.a.egorov@gmail.com
Стр. 62

Еремин Никита Викторович

Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия
kaizoku813@gmail.com
Стр. 21

Ермолаева Дарья Алексеевна

Кемеровский государственный университет (Кемерово), Россия
Dasha26071996e@gmail.com
Стр. 62

Есипов Денис Викторович

Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия
esipov@ict.sbras.ru
Стр. 7

Ефимов Евгений Александрович

Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия
theflash_95@mail.ru
Стр. 21

Ефимов Семен Викторович

Томский политехнический университет (Томск),
Россия
Стр. 47

Жарков Максим Леонидович

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН (Иркутск),
Россия
zharm@mail.ru
Стр. 63

Жихарев Александр Геннадиевич

Белгородский государственный университет (Белгород), Россия
Стр. 61

Завозкин Сергей Юрьевич

*Кемеровский государственный университет (Ке-
мерово), Россия*

Стр. 77

Загарских София Андреевна

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*
zagarskikh.sofia@mail.ru

Стр. 23, 32

Замятин Сергей Владимирович

*Томский политехнический университет (Томск),
Россия*

Стр. 47

Зароднюк Татьяна Сергеевна

*Институт динамики систем и теории управле-
ния имени В.М. Матросова СО РАН (Иркутск),
Россия*

tz@icc.ru

Стр. 22

Захарова Наталья Борисовна

*Институт вычислительной математики РАН
(Москва), Россия*

zakharova_nb@mail.ru

Стр. 64

Зимин Антон Игоревич

*Кемеровский государственный университет (Ке-
мерово), Россия*

slirii@mail.ru

Стр. 22

Зотов А. Э.

Стр. 64

Иткина Наталья Борисовна

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*

Стр. 44

Казаков Евгений Анатольевич

*Институт космофизических исследований
и распространения радиоволн ДВО РАН
(Петропавловск-Камчатский), Россия*

mifistjohn@gmail.com

Стр. 23

Калганов Дмитрий Александрович

*Челябинский государственный университет (Че-
лябинск), Россия*

kalganov@csu.ru

Стр. 64

Калганова Т. А.

Стр. 64

Калинин Егор Сергеевич

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*

kalinin009_1995@mail.ru

Стр. 23, 32

Кармазин Владимир Николаевич

*Кубанский государственный университет (Крас-
нодар), Россия*

Стр. 77

Карманов Дмитрий Александрович

*Вычислительный центр ДВО РАН (Хабаровск),
Россия*

Стр. 74

Квашнин Александр Георгиевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*

Стр. 36

Кириллова Виктория

*Томский политехнический университет (Томск),
Россия*

Стр. 72

Клунникова Юлия Владимировна

*Южный федеральный университет (Ростов-На-
Дону), Россия*

Стр. 39, 40

Козлова Софья Владимировна

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*

sofiya_cohen@mail.ru

Стр. 24

Кондратьев Дмитрий Александрович

*Институт систем информатики имени А.П. Ер-
шова СО РАН (Новосибирск), Россия*

apple-66@mail.ru

Стр. 65

Корляков К. А.

*Челябинский государственный университет (Че-
лябинск), Россия*

Стр. 64

Корниенко Виктория Сергеевна

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*

vika-svetlakova@yandex.ru

Стр. 24, 25

Коротченко Мария Андреевна

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

kmaria@osmf.sscs.ru

Стр. 12

Коршунов Сергей Андреевич

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

Стр. 60

Костылев Денис Алексеевич

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

mail@kostydenis.me

Стр. 65

Костылев Михаил

Программные технологии (Новосибирск), Россия

5999ft@gmail.com

Стр. 66

Краханов Антон

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия

krahalyovanton@mail.ru

Стр. 25

Кривов Максим Андреевич

МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва), Россия

m_krivov@cs.msu.ru

Стр. 26

Кротова Ольга Сергеевна

Алтайский государственный университет (Барнаул), Россия

kr.olga0910@gmail.com

Стр. 66

Крюков Артем Евгеньевич

Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

arttem22@mail.ru

Стр. 26

Кузнецова Ирина Владимировна

Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

irkuznetsova92@gmail.com

Стр. 67

Кузьмичев Александр Валерьевич

Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Тюмень), Россия

kuzmichev.96@mail.ru

Стр. 60

Курдяева Юлия Андреевна

Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта (Калининград), Россия

yakurdyeva@gmail.com

Стр. 27

Кучунова Елена Владимировна

Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

HKuchunova@sfu-kras.ru

Стр. 14

Куянова Юлия Олеговна

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

july9696@mail.ru

Стр. 28

Леонова Юлия Федоровна

Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), Россия

yuliya.igosheva@gmail.com

Стр. 28

Ли Кеянь

Томский политехнический университет (Томск), Россия

wgw@tpu.ru

Стр. 29

Липовка Анна Игоревна

Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

lipovkaai@yandex.ru

Стр. 29

Лобанов Игорь Александрович

Институт проблем управления РАН (Москва), Россия

Стр. 75

Лобасов Александр Сергеевич

Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

perpetuityrs@mail.ru

Стр. 49

Лопатина Светлана Петровна

Томский политехнический университет (Томск), Россия

svetulya_95@bk.ru

Стр. 68

Лукьянова Ольга Александровна

*Вычислительный центр ДВО РАН (Хабаровск),
Россия
ollukyan@gmail.com
Стр. 68, 74*

Лучко Лилия Георгиевна

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия
luchko.liliya@mail.ru
Стр. 68*

Лёзина Наталья Романовна

*Институт вычислительной математики РАН
(Москва), Россия
natalez92@mail.ru
Стр. 30*

Мажанов Максим Олегович

*Томский политехнический университет (Томск),
Россия
mazhanov1997@mail.ru
Стр. 69*

Мальковский Сергей Иванович

*Вычислительный центр ДВО РАН (Хабаровск),
Россия
Стр. 68*

Малюков Сергей Павлович

*Южный федеральный университет (Ростов-На-
Дону), Россия
Стр. 39, 40*

Мамай Игорь Борисович

*НИТУ «МИСиС» (Москва), Россия
ihorbmamai@mail.ru
Стр. 69*

Маматюков Михаил Юрьевич

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия
Стр. 32*

Марзаева Виктория Ильинична

*Томский политехнический университет (Томск),
Россия
marzaeva1993@gmail.com
Стр. 30*

Марков Павел Владимирович

*ООО «ЮНИ-КОНКОРД» (Тюмень), Россия
markov.pv@mail.ru
Стр. 31*

Маторин Сергей Игоревич

Стр. 61

Мердыгеев Бато Доржиевич

*Восточно-Сибирский государственный универси-
тет технологий и управления (Улан-Удэ), Россия
mainisjusticeone@gmail.com
Стр. 70*

Мередова Марина Буйдашевна

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия
mbmeredova@gmail.com
Стр. 31*

Меркулов Максим Витальевич

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия
Стр. 24*

Миков Леонид Сергеевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН,
кемеровский филиал (Кемерово), Россия
mikov@ict.sbras.ru
Стр. 71*

Минаков Андрей Викторович

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия
tov-andrey@yandex.ru
Стр. 49*

Михеев Иван Александрович

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия
strafe322@yandex.ru
Стр. 32*

Мишина Владлена Игоревна

*Томский политехнический университет (Томск),
Россия
Vladaa905@gmail.com
Стр. 71*

Моисейченко Вячеслав Александрович

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия
slava.250894@gmail.com
Стр. 23, 32*

Мойзес Борис Борисович

*Томский политехнический университет (Томск),
Россия
mbb@tpu.ru
Стр. 72*

Морозов Константин Станиславович

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия
konstantinms@ya.ru
Стр. 72*

Морозов Роман Викторович

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия
frozen@krasn.ru
Стр. 8*

Москвичев Егор Владимирович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия
Стр. 21*

Мукатова Жадыра Саматовна

*Институт вычислительной математики и ма-
тематической геофизики СО РАН (Новосибирск),
Россия
zmukatova@ya.ru
Стр. 33*

Мустафаев Арслан Гасанович

*Кабардино-Балкарский государственный универси-
тет (Магачкала), Россия
arслан_mustafaev@mail.ru
Стр. 73*

Науменко Владимир Викторович

*ООО «Инфоком-С» (Ставрополь), Россия
v.naumenko@infocom-s.ru
Стр. 80*

Немыкина Александра Андреевна

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия
abts@bk.ru
Стр. 33*

Никитин Олег Юрьевич

*Вычислительный центр ДВО РАН (Хабаровск),
Россия
olegioner@gmail.com
Стр. 68, 74*

Новиков Артем Олегович

*Институт математики им. С.Л. Соболева
СО РАН (Новосибирск), Россия
artemka1387@bk.ru
Стр. 34*

Окладников Фёдор Андреевич

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия
Fedya.ok96@gmail.com
Стр. 34*

Орловская Яна Андреевна

*Санкт-Петербургский государственный элект-
ротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург),
Россия
Стр. 56*

Остапенко Владимир Викторович

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия
Стр. 17*

Палагина Анна Анатольевна

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия
Nutka911@gmail.com
Стр. 35*

Паршин Даниил Васильевич

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия
Стр. 13, 29, 52*

Паскарь Сергей Юрьевич

*Камчатский государственный университет имени
Витуса Беринга (Петропавловск-Камчатский),
Россия
paskarysy@mail.ru
Стр. 35*

Пененко Алексей Владимирович

*Институт вычислительной математики и ма-
тематической геофизики СО РАН (Новосибирск),
Россия
a.penenko@yandex.ru
Стр. 33*

Перминов Валерий Афанасьевич

*Томский политехнический университет (Томск),
Россия
Стр. 11*

Петренко Ирина Анатольевна

*Владимирский государственный университет
(Владимир), Россия
Стр. 17*

Писарев Артем Владимирович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия
pisarev@tecon.ru
Стр. 36*

Попов Семен Евгеньевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН,
кемеровский филиал (Кемерово), Россия
Стр. 66*

Потапов Вадим Петрович

*Институт вычислительных технологий СО РАН,
кемеровский филиал (Кемерово), Россия
Стр. 8, 66*

Проничкин Сергей Васильевич

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН (Москва), Россия
pronichkin@mail.ru
Стр. 54, 69, 75, 81

Радченко Андрей Васильевич

Томский государственный архитектурно-строительный университет (Томск), Россия
Стр. 37

Радченко Павел Андреевич

Томский государственный архитектурно-строительный университет (Томск), Россия
radchenko@live.ru
Стр. 37

Распутина Татьяна Борисовна

Институт горного дела СО РАН (Новосибирск), Россия
etb-tatiana@mail.ru
Стр. 37

Редюк Алексей Александрович

Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия
Стр. 10

Ромазанов Артур Ринатович

Тюменский государственный университет (Тюмень), Россия
qwsr11@gmail.com
Стр. 76

Русскова Татьяна Владимировна

Институт оптики атмосферы имени В.Е. Зуева СО РАН (Томск), Россия
btv@iao.ru
Стр. 38

Рыбков Михаил Викторович

Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия
mixailrybkov@yandex.ru
Стр. 38, 52

Рылов Сергей Александрович

Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия
RylovS@mail.ru
Стр. 76

Рыльцев Иван Александрович

Томский государственный университет (Томск), Россия
stalak133@mail.ru
Стр. 38

Рыльцева Кира Евгеньевна

Томский государственный университет (Томск), Россия
kiraworkst@gmail.com
Стр. 39

Савкина Надежда Валерьевна

Томский государственный университет (Томск), Россия
Стр. 42

Савченко Владислав Сергеевич

Кубанский государственный университет (Краснодар), Россия
SavchenkoVS1@yandex.ru
Стр. 77

Саенко Александр Викторович

Южный федеральный университет (Ростов-НаДону), Россия
avsaenko@sfedu.ru
Стр. 39, 40

Салиенко Александр Евгеньевич

ОАО «ТЯЖМАШ» (Сызрань), Россия
Стр. 26

Салов Данил Дмитриевич

Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), Россия
salovdd@yandex.ru
Стр. 41, 45, 58

Салтыков Илья

Кемеровский государственный университет (Кемерово), Россия
saltikov42@gmail.com
Стр. 41

Сверкунова Надежда Юрьевна

Томский политехнический университет (Томск), Россия
yankovich@tpu.ru
Стр. 68

Сенотрусова Софья Дмитриевна

Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия
senotrusova.s@mail.ru
Стр. 42

Сечкарев Алексей Борисович

Кемеровский государственный университет (Кемерово), Россия
warety1614@gmail.com
Стр. 59

Сидельников Олег Сергеевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия
o.s.sidelnikov@gmail.com
Стр. 10*

Скворцова Софья Сергеевна

*Томский политехнический университет (Томск),
Россия
sofiackvorsova@yandex.ru
Стр. 69*

Скибина Надежда Петровна

*Томский государственный университет (Томск),
Россия
saiditagain@gmail.com
Стр. 42*

Слабко В. В.

Стр. 24

Смирнов Дмитрий Дмитриевич

*Институт вычислительной математики и ма-
тематической геофизики СО РАН (Новосибирск),
Россия
smirnovdd@mail.ru
Стр. 43*

Сорокиников Павел Сергеевич

*Институт динамики систем и теории управле-
ния имени В.М. Матросова СО РАН (Иркутск),
Россия
Стр. 22*

Сотников Игорь Юрьевич

*Кемеровский государственный университет (Ке-
мерово), Россия
mxtfonlife@mail.ru
Стр. 77*

Спасенко Вячеслав

*Томский политехнический университет (Томск),
Россия
Стр. 72*

Ступаков Илья Михайлович

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия
istupakov@gmail.com
Стр. 43*

Твёрдый Дмитрий Александрович

*Камчатский государственный университет имени
Витуса Беринга (Петропавловск-Камчатский),
Россия
dimsolid95@gmail.com
Стр. 44*

Толстихин Антон Артемович

*Институт динамики систем и теории управле-
ния имени В.М. Матросова СО РАН (Иркутск),
Россия
madstayler93@gmail.com
Стр. 78*

Трофимова Светлана Алексеевна

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия
svetik-missy@mail.ru
Стр. 44*

Тугова Екатерина Сергеевна

*Южно-Уральский государственный университет
(Челябинск), Россия
tugova.katya@mail.ru
Стр. 41, 45, 58*

Тукмакова Надежда Алексеевна

*Казанский технический университет (авиацион-
ный институт) (Казань), Россия
NadejdaTukmakova@ya.ru
Стр. 45*

Тулупов Андрей Александрович

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

Ульянов Михаил Васильевич

*Институт проблем управления им. В.А. Трапез-
никова РАН (Москва), Россия
muljanov@mail.ru
Стр. 8*

Урманцева Нелли Руслановна

*Сургутский государственный университет (Сур-
гут), Россия
nel-u@yandex.ru
Стр. 79*

Фарапонов Валерий Владимирович

*Томский государственный университет (Томск),
Россия
Стр. 42*

Фереферов Евгений Сергеевич

*Институт динамики систем и теории управле-
ния имени В.М. Матросова СО РАН (Иркутск),
Россия
fereferov@icc.ru
Стр. 8, 79*

Фомина Анна Александровна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия
a.fomina@g.nsu.ru
Стр. 46*

Фролов Олег Юрьевич

*Томский государственный университет (Томск),
Россия*

frolovoy@mail.tsu.ru

Стр. 47

Фролов Роман Викторович

*Кемеровский государственный университет (Ке-
мерово), Россия*

Стр. 59

Фёдоров Роман Константинович

*Иркутский научный центр СО РАН (Иркутск),
Россия*

Стр. 8

Харечкин Павел Владимирович

ООО «Инфоком-С» (Ставрополь), Россия

p.harechkin@infocom-s.ru

Стр. 80

Харлампенков Иван Евгеньевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН,
кемеровский филиал (Кемерово), Россия*

ivan87kharlampenkov@gmail.com

Стр. 80

Хе Александр Канчерович

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

Стр. 13

Хегай Ефим Игоревич

*Томский государственный университет (Томск),
Россия*

efim41362@mail.ru

Стр. 47

Хмельнов Алексей Евгеньевич

*Институт динамики систем и теории управле-
ния имени В.М. Матросова СО РАН (Иркутск),
Россия*

Стр. 8

Цавнин Алексей Владимирович

*Томский политехнический университет (Томск),
Россия*

avc14@tpu.ru

Стр. 47

Цгоев Чермен Аланович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*

smotca1595@gmail.com

Стр. 48

Ципотан Алексей Сергеевич

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

Стр. 24

Чеботников Алексей Владимирович

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

Стр. 13

Червонецкий Дмитрий Николаевич

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*

chdm000@gmail.com

Стр. 81

Черевко Александр Александрович

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

Стр. 13, 17, 52

Черноусов Александр Евгеньевич

*Кемеровский государственный университет (Ке-
мерово), Россия*

chrnsv@gmail.com

Стр. 48

Чернышова Юлия Сергеевна

НИТУ «МИСиС» (Москва), Россия

tchernyschovayu@mail.ru

Стр. 81

Чирков Денис Владимирович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*

Стр. 26

Чупахин Александр Павлович

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

Стр. 13

Шайдуров Владимир Викторович

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*

Стр. 25

Шакиров Станислав Рудольфович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*

Стр. 36

Шебелев Александр Валерьевич

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

aleksandr-shebelev@mail.ru

Стр. 49

Шебелева Анна Андреевна

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия*
an_riv@mail.ru
Стр. 49

Шелопут Татьяна Олеговна

*Институт вычислительной математики РАН
(Москва), Россия*
tania_chel@list.ru
Стр. 30, 50

Шигаров Алексей Олегович

*Институт динамики систем и теории управле-
ния имени В.М. Матросова СО РАН (Иркутск),
Россия*
Стр. 79

Шрагер Геннадий Рафаилович

*Томский государственный университет (Томск),
Россия*
Стр. 47

Штанько Екатерина Игоревна

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск),
Россия*
mik_kat@ngs.ru
Стр. 50

Штука Виктор Игоревич

*Институт автоматизации и процессов управления
ДВО РАН (Владивосток), Россия*
onslice@mail.ru
Стр. 51

Шумилов Борис Михайлович

*Томский государственный архитектурно-
строительный университет (Томск), Россия*
sbm@tsuab.ru
Стр. 16

Щербаков Павел Константинович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
1doffys@gmail.com
Стр. 51

Щербанюк Александр Михайлович

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия*
shcherbanyuk.alexandr@mail.ru
Стр. 52

Юрин Александр Юрьевич

*Институт динамики систем и теории управле-
ния имени В.М. Матросова СО РАН (Иркутск),
Россия*
Стр. 60

Якубович Максим Викторович

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*
Стр. 14

Янкович Елена Петровна

*Томский политехнический университет (Томск),
Россия*
yankovich@tpu.ru
Стр. 68

Янькова Галина Сергеевна

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
galinka0395@mail.ru
Стр. 52

Ярещенко Дарья Игоревна

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия*
YareshenkoDI@yandex.ru
Стр. 82

О снятии ответственности

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

Ответственные за выпуск

Гусев О. И., Синявский Ю. Н.

Компьютерная верстка в системе $\text{\LaTeX}$

Гусев О. И., Синявский Ю. Н., Борзилова Ю. С.,
Гарагулова А. К., Кихтенко В. А., Крюков А. Е.,
Палагина А. А., Рылов С. А., Сидельников О. С.,
Чеховской И. С., Щербаков П. К.

Подписано к печати 10.10.2018.

Формат 60x84 1/8. Тираж 120 экз. Заказ № 702

Отпечатано в ООО «Дигит Про».

630005, г. Новосибирск, ул. Журина, д. 78, пом. 208

