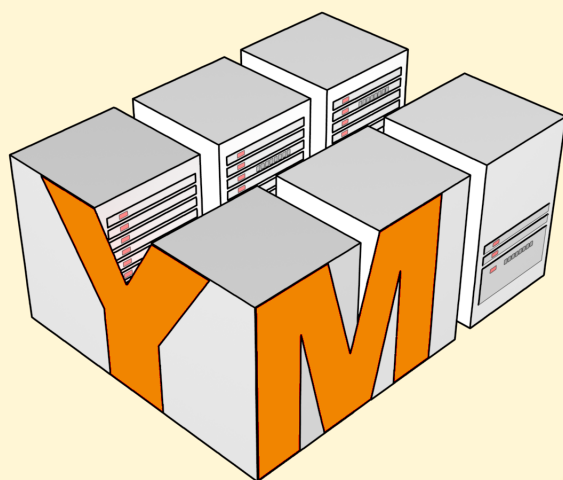


XVII Всероссийская конференция молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям

Материалы конференции



2016

**30 октября – 3 ноября
Новосибирск**

Институт вычислительных технологий СО РАН

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

Программа

Тезисы докладов

Алфавитный указатель участников

Новосибирск

30 октября — 3 ноября 2016 г.

УДК 004, 519.6
ББК 22.19, 32.81
М34

Материалы XVII Всероссийской конференции молодых учёных по математическому моделированию. г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016 г. — Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2016. — 126 стр.

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

В рамках работы конференции представлены следующие тематические направления: математическое моделирование; численные методы и методы оптимизации; высокопроизводительные вычисления и параллельное программирование; информационные и геоинформационные системы; управление, обработка, защита и хранение информации; автоматизация и теория управления.

Конференция проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 16-31-10440-мол_г) и Совета научной молодежи ИВТ СО РАН.

Организаторы конференции:

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

Ответственные за выпуск: Есипов Д. В., Лиханова Ю. В.

Программный комитет:

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

Организационный комитет:

- академик Ю. И. Шокин (Новосибирск) — председатель
- к.ф.-м.н. Д. В. Есипов (Новосибирск) — секретарь
- к.ф.-м.н. Ю. В. Лиханова (Новосибирск)
- к.ф.-м.н. А. Е. Беднякова (Новосибирск)
- к.ф.-м.н. А. В. Вяткин (Красноярск)
- к.ф.-м.н. А. А. Редюк (Новосибирск)
- к.т.н. Е. С. Ферферов (Иркутск)
- н.с. Ю. Н. Синявский (Новосибирск)
- асп. О. И. Гусев (Новосибирск)
- асп. В. А. Кихтенко (Новосибирск)
- асп. А. Е. Лютов (Новосибирск)
- асп. П. В. Мельников (Новосибирск)
- асп. С. А. Рылов (Новосибирск)
- асп. О. С. Сидельников (Новосибирск)
- асп. И. С. Чеховской (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 результаты, полученные с их помощью.

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 вычисления и параллельное программирование

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.

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, распределенными информационными системами. Затрагиваются вопросы обеспечения их надежного функционирования и безопасности.

5. Управление, обработка, защита и хранение информации

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

6. 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

Схема проведения конференции	5
Программа конференции	8
Тезисы докладов	25
1. Вычислительные технологии	25
2. Информационные технологии	77
Алфавитный указатель участников	111

Схема проведения конференции

30 октября 2016 г.	
16:00 – 18:00 Регистрация участников конференции (гостиница «Золотая долина»)	
31 октября 2016 г.	
08:30 – 09:00 Регистрация участников конференции (ИВТ СО РАН)	
09:00 – 10:40 <i>Открытие конференции. Пленарные доклады:</i> чл.-корр. РАН Шайдунов В.В. (ИВМ СО РАН, г. Красноярск) к.ф.-м.н. Пененко А.В. (ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск) (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	
10:40 – 11:00 Перерыв (кофе-брейк)	
11:00 – 13:00 Заседание секции «Вычислительные технологии» (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	11:00 – 13:00 Заседание секции «Информационные технологии» (ИВТ СО РАН, зал заседаний № 411)
13:00 – 14:00 Обеденный перерыв	
14:00 – 16:00 Заседание секции «Вычислительные технологии» (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	14:00 – 16:00 Заседание секции «Информационные технологии» (ИВТ СО РАН, зал заседаний № 411)
16:00 – 16:20 Перерыв (кофе-брейк)	
16:20 – 18:20 Заседание секции «Вычислительные технологии» (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	16:20 – 18:20 Заседание секции «Информационные технологии» (ИВТ СО РАН, зал заседаний № 411)

1 ноября 2016 г.	
09:00 – 10:40 <i>Пленарные доклады:</i> к.ф.-м.н. Пестунов А.И. (НГУЭУ, г. Новосибирск) к.т.н. Перетокин С.А. (ИВТ СО РАН, г. Новосибирск) д.т.н. Ульянов М.В. (ИПУ РАН, г. Москва) (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	
10:40 – 11:00 Перерыв (кофе-брейк)	
11:00 – 13:00 Заседание секции «Вычислительные технологии» (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	11:00 – 13:00 Заседание секции «Информационные технологии» (ИВТ СО РАН, зал заседаний № 411)
13:00 – 14:00 Обеденный перерыв	
14:00 – 16:00 Заседание секции «Вычислительные технологии» (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	14:00 – 16:00 Заседание секции «Информационные технологии» (ИВТ СО РАН, зал заседаний № 411)
16:00 – 16:20 Перерыв (кофе-брейк)	
16:20 – 18:20 Заседание секции «Вычислительные технологии» (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	16:20 – 18:20 Заседание секции «Информационные технологии» (ИВТ СО РАН, зал заседаний № 411)
19:00 Неформальная дискуссионная площадка «Математическое моделирование в фотонике»	
2 ноября 2016 г.	
09:00 – 10:40 <i>Пленарные доклады:</i> к.ф.-м.н. Беднякова А.Е. (ИВТ СО РАН, г. Новосибирск) к.ф.-м.н. Лапин В.Н. (ИВТ СО РАН, г. Новосибирск) к.ф.-м.н. Лиханова Ю.В. (ИВТ СО РАН, г. Новосибирск) (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	
10:40 – 11:00 Перерыв (кофе-брейк)	
11:00 – 13:00 Заседание секции «Вычислительные технологии I» (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	11:00 – 13:00 Заседание секции «Вычислительные технологии II» (ИВТ СО РАН, зал заседаний № 411)
13:00 – 14:00 Обеденный перерыв	
14:00 – 16:00 Заседание секции «Вычислительные технологии I» (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	14:00 – 16:00 Заседание секции «Вычислительные технологии II» (ИВТ СО РАН, зал заседаний № 411)
16:00 – 16:20 Перерыв (кофе-брейк)	
16:20 – 18:20 Заседание секции «Вычислительные технологии I» (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	16:20 – 18:20 Заседание секции «Вычислительные технологии II» (ИВТ СО РАН, зал заседаний № 411)

3 ноября 2016 г.	
09:00 – 10:40 <i>Пленарные доклады:</i> д.т.н. Рябко Б.Я. (ИВТ СО РАН, г. Новосибирск) д.ф.-м.н. Остапенко В.В. (ИГиЛ СО РАН, г. Новосибирск) к.т.н. Юрин А.Ю. (ИДСТУ СО РАН, г. Иркутск) (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	
10:40 – 11:00 Перерыв (кофе-брейк)	
11:00 – 13:00 Заседание секции «Вычислительные технологии» (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	11:00 – 13:00 Заседание секции «Информационные технологии» (ИВТ СО РАН, зал заседаний № 411)
13:00 – 14:00 Обеденный перерыв	
14:00 – 16:00 Заседание секции «Вычислительные технологии» (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	14:00 – 16:00 Заседание секции «Информационные технологии» (ИВТ СО РАН, зал заседаний № 411)
16:00 – 16:20 Перерыв (кофе-брейк)	
16:20 – 17:30 Заседание секции «Вычислительные технологии» (ИВТ СО РАН, конф.-зал № 513)	16:20 – 17:30 Заседание секции «Информационные технологии» (ИВТ СО РАН, зал заседаний № 411)
17:30 – 18:00 <i>Подведение итогов и закрытие конференции</i>	
4 ноября 2016 г.	
09:00 Экскурсия в Новосибирский зоопарк	

Программа конференции

31 октября 2016 г.

09:00-10:40 Открытие конференции и пленарные доклады

1. Шайдуров Владимир Викторович*

Полу-Лагранжевые аппроксимации нестационарных задач математической физики

* Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

2. Пененко Алексей Владимирович*, Пененко В.В.*

Численные алгоритмы вариационного усвоения данных измерений для задач изучения химического состава атмосферы

* Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

10:40-11:00 Перерыв (кофе-брейк)

11:00-13:00 Вычислительные технологии (заседание 1)

1. Берендеев Евгений Андреевич*, Дудникова Г.И.*, Ефимова А.А.***

Моделирование на суперЭВМ генерации электромагнитного излучения при взаимодействии электронного пучка с плазмой

* Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

*** Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

2. Калганов Дмитрий Александрович*, Бутыко Л.Н.*, Калганова Т.А.*

Модель GTEM камеры для проведения испытаний на ПЭМИН

* Челябинский государственный университет (Челябинск), Россия

3. Ефимова Анна Анатольевна*, Берендеев Е.А.*

Численное моделирование электростатической ударной волны

* Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

4. Добролюбова Дарья Владимировна*, Михайлова Е.И.*

Математическое моделирование гармонических электромагнитных полей в областях с тонкими проводящими пластинами

* Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), Россия

5. Мамышева Татьяна Николаевна*, Лихачев А.В.*

Моделирование неоднородностей магнитных полей в задаче ЯМРТ

* Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

6. Хаимчикова Жаргалма Баировна*, Слепцова Н.С.*, Лихачев А.В.*

Моделирование рентгеновских изображений с учетом энергетического спектра источника

* Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

7. Коротченко Мария Андреевна*, Бурмистров А.В.**

Оценка по столкновениям метода Монте-Карло для параметрического анализа решения кинетического уравнения Смолуховского с линейными коэффициентами

* Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

** Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

13:00-14:00 Обеденный перерыв

14:00-16:00 Вычислительные технологии (заседание 2)

1. **Исаев Иван Леонидович***, Ершов А.Е.*, Филимонов С.А.***, Гаврилюк А.П.*

Расширение ультрахолодной эи плазмы в однородном магнитном поле

* Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

*** ООО «ТОРИНС» (Красноярск), Россия

2. **Дикушина Елена Александровна***, Аввакумов И.Л.*

Метод высокотемпературного разложения в моделировании экситонного переноса в Sr_2IrO_4 с учетом хундовского взаимодействия

* Уральский федеральный университет (Екатеринбург), Россия

3. **Карелин Вадим Александрович***

Математическое моделирование и поиск аналитических решений процесса СВЧ-нагрева плоского угольного массива

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

4. **Абашин Руслан Сергеевич***

Моделирование тепловизионного изображения методом Монте-Карло

* Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

5. **Заплетина Мария Андреевна***, Матюшкин И.В.*

Применение клеточных автоматов для описания протекания электрического тока в межсоединениях сверхбольших интегральных схем

* Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН (Зеленоград), Россия

6. **Беляев Василий Алексеевич***

Метод коллокации и наименьших невязок для решений задач математической физики в неканонических областях

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

16:00-16:20 Перерыв (кофе-брейк)

16:20-18:20 Вычислительные технологии (заседание 3)

1. **Чеховской Игорь Сергеевич***

Сложение и сжатие оптических импульсов с помощью многосердцевидных световодов

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

2. **Сидельников Олег Сергеевич***, Редюк А.А.*

Математическое моделирование многомодовых волоконно-оптических линий связи

* Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

3. **Головастикова Никита Владимирович***, Быков Д.А.*, Досколович Л.Л.*

Описание дифракции оптического импульса на резонансной дифракционной решётке

* Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева (Самара), Россия

4. **Гришин Максим Александрович***, Булушев Е.Д.**, Бессмельцев В.П.**

Численное моделирование импульсной лазерной абляции алюминия с учетом зависимости от температуры коэффициентов теплопроводности и объемного поглощения

* Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (Новосибирск), Россия

** Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия

5. **Трачева Наталья Валерьевна***, Ухинов С.А.*

Исследование угловых характеристик поляризованного излучения с помощью проекционных оценок метода Монте-Карло

* Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

6. Усенков Станислав Валерьевич*, Настовьяк А.Г.*, Шварц Н.Л.*

Моделирование процессов формирования наноструктур методом Монте-Карло с учётом димеризации

* Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН (Новосибирск), Россия

7. Кардашин Андрей Сергеевич*

Электронные и магнитные свойства примеси железа на подложках Pt(111), Pd(111), W(110)

* Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (Москва), Россия

newpage 11:00-13:00 Информационные технологии (заседание 1)

1. Гладких Анна Сергеевна*

Использование векторного представления слов для выявления семантических полей в русских поэтических текстах

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

2. Усталов Дмитрий Алексеевич*

Средства построения лексической онтологии при помощи краудсорсинга

* Институт математики и механики УрО РАН (Екатеринбург), Россия

3. Бакиева Айгерим Муратовна*

Стемматизация и генерация словоформ казахского языка для систем автоматической обработки текстов

* Высший колледж информатики Новосибирского государственного университета (Новосибирск), Россия

4. Данеева Шанар Александровна*

Автоматическое разрешение местоименной анафоры при помощи алгоритма FRiS-Tax

* Институт систем информатики имени А.П. Ершова СО РАН (Новосибирск), Россия

5. Кызыюров Олег Евгеньевич*, Зарубин А.А.*, Павлов С.Д.*, Патрушев И.Р.*

О задачах моделирования изменений аудиторий современных инфокоммуникационных услуг методами клеточных автоматов и системной динамики

* Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (Санкт-Петербург), Россия

6. Полетайкин А.Н.*, Ильина Татьяна Сергеевна*

Методика нечеткого оценивания личностных качеств обучающихся

* «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (Новосибирск), Россия

7. Борзилова Юлия Сергеевна*, Каличкин А.О.**

Проектирование приложения для командной деятельности студентов с применением технологий дизайн-мышления

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

** ЗАО «Золотая корона» (Новосибирск), Россия

13:00-14:00 Обеденный перерыв

14:00-16:00 Информационные технологии (заседание 2)

1. Горский Сергей Алексеевич*

Автоматизация научных расчетов в ИК Orlando

* Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

2. Сизов Михаил Михайлович*, Зюбин В.Е.*

Алгоритм определения параметров отрезков на основе преобразования Хафа

* Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия

3. Кондратьев Дмитрий Александрович*

Расширение системы C-light символическим методом верификации финитных итераций

* Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН (Новосибирск), Россия

4. Авраменко Юрий Владимирович*, Фёдоров Р.К.*

Решение задачи удовлетворения ограничений в логическом методе идентификации объектов

* Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

5. Григорьев Андрей Викторович*

Применение методов семантической паутины для статического анализа кода

* Тюменский государственный университет (Тюмень), Россия

6. Беликова Марина Юрьевна*, Кречетова С.Ю.*, Казанцева А.А.*, Глебова А.В.*

Оценка и сравнительный анализ методов кластерного анализа данных о грозových разрядах

* Горно-Алтайский государственный университет (Горно-Алтайск), Россия

7. Пахоруков Александр Сергеевич*

Стеганография. Скрытие стего в изображении

* Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

16:00-16:20 Перерыв (кофе-брейк)

16:20-18:20 Информационные технологии (заседание 3)

1. Лях Татьяна Викторовна*, Зюбин В.Е.*

Модельно-ориентированный метод автоматической верификации управляющих алгоритмов

* Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия

2. Бедарев Н.А.*, Перепелкин В.А., Прокопьева Анастасия Валерьевна***

Автоматический синтез оптимальных сценариев удалённого тестирования с использованием вычислительных моделей

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

** Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

3. Старолетов Сергей Михайлович*

Разработка вероятностного расширения верификатора Spin

* Алтайский государственный технический университет (Барнаул), Россия

4. Ожгибесов Михаил Сергеевич*, Орлов А.А.*, Пан В.В.*

Автоматизированный контроль целостности и мониторинг адекватности математических моделей

* Econophysics (Новосибирск), Россия

5. Аненков Александр*, Пазников А.А.*

Алгоритмы локализации доступа к элементам потокобезопасных пулов на основе распределяющих деревьев

* Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (Новосибирск), Россия

6. Линкевич Николай Александрович*

Разработка операционной системы на базе ядра Linux для гипервизоров

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

7. Боганюк Юлия Викторовна*

Разработка модели пересчета параметров контекста интернет-страниц по приоритетности

* Тюменский государственный университет (Тюмень), Россия

1 ноября 2016 г.

09:00-10:40 Пленарные доклады

1. Пестунов Андрей Игоревич*

Криптографическая валюта Биткойн: принципы работы и современное состояние

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

2. Перетокин Сергей Анатольевич*

Вероятностный анализ сейсмической опасности с использованием эмпирических зависимостей

* Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

3. Ульянов Михаил Васильевич*

Пиковые характеристики функции энтропии слов и кластеризация семейств растений

* Институт проблем управления РАН (Москва), Россия

10:40-11:00 Перерыв (кофе-брейк)

11:00-13:00 Вычислительные технологии (заседание 1)

1. Гришина Анастасия Александровна*, Пененко А.В.*

Моделирование кинетики химических реакций с использованием схем вариационного усвоения данных

* Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

2. Прокофьева Алина Эдуардовна*

Модификация дискретного фильтра Калмана при негауссовских шумах измерений

* Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

3. Долгов Андрей Александрович*

Оценивание параметров стохастических линейных дискретных моделей на основе гибридного фильтра Калмана

* Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

4. Светов Иван Евгеньевич*

Численное решение задачи 2-тензорной томографии с использованием метода приближенного обращения

* Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия

5. Полякова Анна Петровна*

Численное решение задачи двумерной векторной томографии методом приближенного обращения

* Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия

6. Семёнов Евгений Витальевич*

Решение двумерной обратной задачи электроимпедансной томографии глубокими нейронными сетями

* Томский государственный университет (Томск), Россия

7. Новиков Никита Сергеевич*

Решение одной двумерной обратной задачи для уравнения акустики на основе метода Гельфанда — Левитана — Крейна

* Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

13:00-14:00 Обеденный перерыв

14:00-16:00 Вычислительные технологии (заседание 2)

1. Гермидер Оксана Владимировна*, Попов В.Н.*

Математическое моделирование процесса переноса тепла в прямоугольном канале в задаче о течении Пуазейля с зеркально-диффузными граничными условиями

* Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (Архангельск), Россия

2. Марков Сергей Игоревич*, Иткина Н.Б.*

Применение стабилизированного векторного метода конечных элементов для моделирования течений газов

* Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

3. Скибина Надежда Петровна*, Савкина Н.В.*, Фарапонов В.В.*

Численное определение аэродинамических характеристик цилиндрических тел с разным видом геометрии при сверхзвуковых скоростях

* Томский государственный университет (Томск), Россия

4. Решетова Анна Игоревна*, Кириловский С.В.*, Попплавская Т.В.**

Численное моделирование развития возмущений в течении смеси колебательно возбужденных газов на пластине

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

** Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (Новосибирск), Россия

5. Снигур Виктор*, Рыжков И.И.**

Исследование разделения околоскритических бинарных смесей в термодиффузионной колонне.

* Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

** Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

6. Козлова Софья Владимировна*

Численное моделирование стационарного разделения тройной смеси в цилиндрической термодиффузионной колонне

* Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

7. Евстигнеев Николай*

Численное исследование бифуркаций в некоторых задачах ламинарно-турбулентного перехода

* Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН (Москва), Россия

16:00-16:20 Перерыв (кофе-брейк)

16:20-18:20 Вычислительные технологии (заседание 3)

1. Палагина Анна Анатольевна*

Численное исследование поверхностных волн, возникающих при подводном оползне, с использованием модели потенциальных течений жидкости

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

2. Зимин Антон*

Моделирование волны, возникающей вследствие обвала подводного оползня

* Кемеровский государственный университет (Кемерово), Россия

3. Гусев Олег Игоревич*

Численное моделирование гипотетических оползневых цунами в Чёрном море

* Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

4. Михайлов Сергей Олегович*

Численное моделирование течений жидкости со свободными границами методом естественных элементов

* Кемеровский государственный университет (Кемерово), Россия

5. Чуруксаева Владислава Васильевна*, Старченко А.В.*

Численное моделирование двухфазного турбулентного течения в открытом канале в приближении мелкой воды

* Томский государственный университет (Томск), Россия

6. Антипова Екатерина Андреевна*, Крылова А.И.**, Перевозкин Д.В.**

Численное моделирование гидравлического режима дельты реки Лена

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

** Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

7. Цыденов Баир Олегович*

Численное исследование распространения примеси в пресном озере на основе распределения мутности воды

* Томский государственный университет (Томск), Россия

11:00-13:00 Информационные технологии (заседание 1)

1. Быков А.А.*, Курако Михаил Александрович**

Вычислительный инструментарий для обработки данных гидрофизического мониторинга (на примере чилийских цунами 2010-2015 гг.)

* Институт космических и информационных технологий Сибирского федерального университета (Красноярск), Россия

** Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

2. Рохина Марина Геннадьевна*, Неведрова Н.Н.*, Шалагинов А.Е.*

Построение 4D моделей средствами ESRI ArcGIS (на примере участка в Чуйской впадине Горного Алтая)

* Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), Россия

3. Долгая Анна Андреевна*, Фереферов К.А.**, Герус А.И.*

Информационная система анализа катастрофических событий

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

** Дальневосточный федеральный университет (Владивосток), Россия

4. Сидоренко Павел Витальевич*, Гиниятуллина О.Л.*, Харлампенков И.Е.*

Информационная система оценки биоразнообразия горнодобывающего региона.

* Институт вычислительных технологий СО РАН, кемеровский филиал (Кемерово), Россия

5. Проничкин Сергей Васильевич*

Информационная система определения антропогенной нагрузки на экосистему мегаполиса

* Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН (Москва), Россия

6. Сорокин А.А.*, Королев С.П.*, Урманов Игорь Павлович*, Мальковский С.И.*

Информационная система для работы GNSS сети ДВО РАН

* Вычислительный центр ДВО РАН (Хабаровск), Россия

7. Гиниятуллина Ольга Леоновна*

Применение данных Sentinel-2A в задачах геоэкологического мониторинга горнодобывающих регионов

* Институт вычислительных технологий СО РАН, кемеровский филиал (Кемерово), Россия

13:00-14:00 Обеденный перерыв

14:00-16:00 Информационные технологии (заседание 2)

1. Курако Михаил Александрович*

Алгоритмы аппроксимации данных геомониторинга специального вида

* Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

2. Бодякин Евгений Владимирович*

Переход от общего сейсмического районирования к сейсмическому микрорайонированию с использованием вероятностных обобщенных спектров реакций и синтезированных акселерограмм

* Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

3. Миков Леонид Сергеевич*

Методы обработки спутниковых радарных данных

* Институт вычислительных технологий СО РАН, кемеровский филиал (Кемерово), Россия

4. Лихачев А.В.*, Кузьменко Владимир Дмитриевич*

Разработка метода поиска границ проекций внутренних структур на рентгеновских изображениях

* Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

5. Янькова Галина Сергеевна*, Черевко А.А., Мальцева С.В.***, Паршин Д.В.**, Акулов А.Е.****, Хе А.К.**, Чупахин А.П.****

Восстановление сосудистой сети головного мозга по данным МР-томографии

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

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

*** Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия

**** Институт цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск), Россия

6. Канашкин Антон Андреевич*, Епихин А.М., Епихин А.А.****

Программная библиотека распознавания паттернов двигательной активности в реальном времени

* ООО «Системы промышленной автоматизации» (Красноярск), Россия

** Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» Красноярского научного центра СО РАН (Красноярск), Россия

7. Есипенко Сергей Павлович*

Проектирование модульной системы отслеживания позы человека на видеоизображении

* Алтайский государственный технический университет (Барнаул), Россия

16:00-16:20 Перерыв (кофе-брейк)

16:20-18:20 Информационные технологии (заседание 3)

1. Ощепков Александр Юрьевич*

Алгоритм на базе парадигмы MapReduce для высокопроизводительной обработки спутниковых спектральных изображений

* Институт вычислительных технологий СО РАН, кемеровский филиал (Кемерово), Россия

2. Соловьев Александр Анатольевич*, Резник А.Л.*, Торгов А.В.*

Высокопроизводительные компьютерно-аналитические вычисления в задачах обработки случайных точечных изображений

* Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия

3. Морозов Антон Евгеньевич*

Параллельные алгоритмы фрактального сжатия изображений, реализация на OpenCL

* Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

4. Тихомиров Артём Игоревич*, Баранов А.В.*

Планирование заданий в территориально распределенной системе с абсолютными приоритетами

* Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН (Москва), Россия

5. Перепелкин В.А.*, **Беляев Николай Алексеевич***

Динамическое планирование распределения вычислительной нагрузки LuNA-программ по CPU и GPU на мультикомпьютерах

* Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

6. **Кашинцев Марк***

Балансировка нагрузки в распределенной системе гидродинамического моделирования

* Тюменский государственный университет (Тюмень), Россия

7. **Щукин Георгий Анатольевич***

Локальный алгоритм распределения данных и динамической балансировки нагрузки в технологии фрагментированного программирования для двумерных структур данных и топологий вычислительной сети

* Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

2 ноября 2016 г.

09:00-10:40 Пленарные доклады

1. Беднякова Анастасия Евгеньевна*

Использование методов математического моделирования для решения актуальных задач нелинейной оптики

* Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

2. Лапин Василий Николаевич*

Методы моделирования распространения трещин гидроразрыва пласта

* Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

3. Лиханова Юлия Викторовна*

О численном моделировании конденсата Бозе — Эйнштейна

* Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

10:40-11:00 Перерыв (кофе-брейк)

11:00-13:00 Вычислительные технологии I (заседание 1)

1. Семёнова Анастасия Александровна*

Об одной разностной схеме, применяющей сплайн-функции, для решения уравнения переноса примеси в атмосфере

* Томский государственный университет (Томск), Россия

2. Кучунова Елена Владимировна*, Вяткин А.В.*

Параллельная реализация полулагранжевого метода для двумерного уравнения неразрывности на многопроцессорных вычислительных системах

* Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

3. Бондарева Любовь Васильевна*

Распространение нерастворенных примесей в затопленных подземных выработках на примере ш. Кольчугинской

* Кемеровский государственный университет (Кемерово), Россия

4. Сорокин Константин Эдуардович*, Перепечко Ю.В.*

Моделирование влияния примеси на течение дисперсной смеси

* Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия

5. Климов Антон Владиславович*, Куликов Д.В.*, Рахманов В.В.*, Главный В.Г.*

Исследование определения размеров частиц гидродинамического потока методами лазерной доплеровской анемометрии

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

6. Железнова Алена Андреевна*

Применение DG-метода для решения уравнения конвекции — диффузии — реакции

* Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

7. Чухно Владимир Игоревич*, Усов Э.В.**

Численное моделирование снарядного режима течения для обоснования безопасности реакторных установок

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

** Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Новосибирский филиал (Новосибирск), Россия

13:00-14:00 Обеденный перерыв

14:00-16:00 Вычислительные технологии I (заседание 2)

1. Филимонов Сергей Анатольевич*

Основные способы построения разномасштабных (1D-3D) моделей потокораспределения в гидродинамических системах, на примере программного комплекса sigmaFlow

* ООО «ТОРИНС» (Красноярск), Россия

2. Дементьева Екатерина Васильевна*, Каропова Е.Д.*, Киреев И.В.*

Неточный метод Узавы – сопряжённых градиентов для задачи Стокса для вязкой несжимаемой жидкости

* Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

3. Хромова Надежда Александровна*, Игошин Д.Е.*

Гидравлическое сопротивление извилистых каналов

* Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (Тюмень), Россия

4. Григорьев Александр Евгеньевич*

Метод граничных элементов, модифицированный на основе быстрого метода мультиполей: сравнение с классическим МГЭ и методом конечных разностей на задачах стационарных течений Стокса

* Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

5. Черемных Елена Николаевна*

Об однонаправленном термогравитационном движении вязкой жидкости в плоском канале

* Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

6. Круглова Екатерина Алексеевна*, Блохин А.М., Семисалов Б.В.*****

Численное моделирование неизоэнтальпического течения полимерной жидкости между двумя соосными цилиндрами с контролем погрешности

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

** Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия

*** Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН (Новосибирск), Россия

7. Митин Константин Александрович*

Численное моделирование сопряженного свободноконвективного теплообмена методом конечных элементов

* Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе (Новосибирск), Россия

16:00-16:20 Перерыв (кофе-брейк)

16:20-18:20 Вычислительные технологии I (заседание 3)

1. Долгов Дмитрий*

Математическое моделирование искусственного сердечного клапана

* Кемеровский государственный университет (Кемерово), Россия

2. Гологуш Татьяна Сергеевна*, Черевко А.А., Остапенко В.В.**, Петренко И.А.***, Чупахин А.П.****

Численное моделирование и оптимизация процесса эмболизации артериовенозной мальформации на основе модели двухфазной фильтрации

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

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

*** Владимирский государственный университет (Владимир), Россия

3. Черевко А.А.*, Борд Елизавета Евгеньевна, Хе А.К.*, Панарин В.А.***, Орлов К.Ю.***, Чупахин А.П.***

Применение нелинейного аналога Диаграмм Найквиста для анализа обобщенного уравнения Ван дер Поля — Дуффинга, описывающего локальную гемодинамику мозга

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

** Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

*** Новосибирский научно-исследовательский институт патологии кровообращения им. ак. Е.Н. Мешалкина (Новосибирск), Россия

4. Вьюнник Наталья Михайловна*

Численное моделирование движения жидкости с переменной плотностью и вязкостью

* Кемеровский государственный университет (Кемерово), Россия

5. Щербаков Павел Константинович*

Численное моделирование многофазных течений в гидротурбине

* Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

6. Полухина Мария Евгеньевна*

Математическое моделирование процессов розжига огневого забоя и газообразования в подземном газификаторе

* ГОУ ВПО Кемеровский государственный университет (Кемерово), Россия

7. Абрамов Тимофей Владимирович*

Оценка влияния схемной диффузии при численном моделировании неустойчивости Рэлея — Тейлора на регулярных течениях

* Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), Россия

11:00-13:00 Вычислительные технологии II (заседание 1)

1. Семисалов Борис Владимирович*

Методы без насыщения в прикладных задачах математической физики

* Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН (Новосибирск), Россия

2. Рыбков Михаил Викторович*, Литвинов П.С.*

Алгоритм интегрирования на основе методов с согласованными областями устойчивости

* Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

3. Батуева Цындыма Чимит-Доржиевна*

О циклах в дискретных динамических системах циркулянтного типа

* Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия

4. Сенотрусова Софья Дмитриевна*

Численное моделирование динамики сети онкомаркеров p53-микроРНК

* Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

5. Кузьмин Георгий Андреевич*, Семисалов Б.В.**

Спектральный метод повышенной скорости сходимости для решения задач с пограничным слоем

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

** Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН (Новосибирск), Россия

6. Витова Татьяна Брониславовна*

Исследование чувствительности модели движения людей SIGMA.DC к входным данным

* Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

7. Гоголева Анна Николаевна*, Лихачев А.В.*

Решение модели Стюарта — Левина методом Монте-Карло

* Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

13:00-14:00 Обеденный перерыв

14:00-16:00 Вычислительные технологии II (заседание 2)

1. Лютов Алексей Евгеньевич*, Черный С.Г.*, Крюков А.Е.*, Чирков Д.В.****

Моделирование процесса усталостного разрушения колеса гидротурбин, вызванного взаимодействиями жидкости и конструкции на установившихся режимах работы.

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

** Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

2. Патрушев Илья Игоревич*

Исследование аппроксимации решения задач упругости при использовании различных типов конечных элементов

* Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

3. Латышев Андрей Александрович*, Семисалов Б.В.**

Численное решение задачи совместного деформирования двух упругих стержней

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

** Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН (Новосибирск), Россия

4. Макарова Анна Юрьевна*

Итерационный метод решения задачи «гидродинамика — упругость» модели радиальной трещины с явным заданием величины шага по времени

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

5. Кутищева Анастасия Юрьевна*

Математическое моделирование трещиноватых структур расширенным методом конечных элементов

* Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), Россия

6. Карякин Иван Юрьевич*, Цыганова М.С.*, Ивашко А.Г.*

Программный комплекс прогнозирования структуры стали после термической обработки

* Тюменский государственный университет (Тюмень), Россия

16:00-16:20 Перерыв (кофе-брейк)

16:20-18:20 Вычислительные технологии II (заседание 3)

1. Алеев Никита Ринатович*, Семисалов Б.В., Голушко С.К.*****

Расчет осевого сжатия сетчатой цилиндрической оболочки из углепластика

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

** Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН (Новосибирск), Россия

*** Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН (Новосибирск), Россия

2. Микушина Валентина Алексеевна*

Компьютерное моделирование механического поведения биокompозита с учетом накопления повреждений

* Томский государственный университет (Томск), Россия

3. Самошкин Антон Сергеевич*

Математическая модель деформирования железобетона с учетом контактного взаимодействия структурных компонентов

* Сибирский государственный университет путей сообщения (Новосибирск), Россия

4. Стребкова Екатерина Александровна*, Кривошеина М.Н., Кобенко С.В.*****

Коротационная производная Яуманна — Зарембы для численного моделирования динамического нагружения тел из анизотропных материалов

* Томский государственный университет (Томск), Россия

** Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (Томск), Россия

*** Нижневартовский государственный университет (Нижневартовск), Россия

5. Шестаков Валерий Владимирович*, Степанов Д.Ю.*, Парубенко И.В.**

Исследование алгоритма совместного геостатистического 3D-моделирования геологических сред

* Томский политехнический университет (Томск), Россия

** ООО НАЦ «Недра» (Томск), Россия

6. Стогний Полина Владимировна*, Петров Д.И.*, Петров И.Б.*

Влияние ледовых образований на сейсмические отклики в трехмерных моделях в условиях Арктики

* Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет) (Долгопрудный), Россия

3 ноября 2016 г.

09:00-10:40 Пленарные доклады

1. Рябко Борис Яковлевич*

Теоретико-информационные методы анализа и прогнозирования временных рядов и их применение для ряда актуальных задач информатики

* Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

2. Остапенко Владимир Викторович*

Математическое моделирование катастрофических процессов на водных объектах

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

3. Юрин Александр Юрьевич*, Дородных Н.О.*, Грищенко М.А.*

Модельно-управляемый подход в контексте создания экспертных систем и баз знаний

* Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

10:40-11:00 Перерыв (кофе-брейк)

11:00-13:00 Вычислительные технологии (заседание 1)

1. Полищук Станислав Юрьевич*

Математическое моделирование процесса теплопереноса с фазовым переходом на базе многомасштабного разрывного метода Галёркина

* Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

2. Алипова Ксения Александровна*

Сравнение двух численных методов решения задачи Стефана

* Томский государственный университет (Томск), Россия

3. Мариненко Аркадий Вадимович*, Эпов М.И.*

Использование вычислительных технологий на различных этапах создания новой геофизической установки для разведки на шельфе

* Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), Россия

4. Архипов Д.А.*, Штабель Евгений Павлович*

Сравнение двух типов возбуждения поля в скважинной геоэлектрике

* Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), Россия

5. Сердюков Александр Сергеевич*, Дучков А.А.*

Эффективная реализация метода сейсмической миграции в обратном времени на основе нового параллельного алгоритма моделирования первых вступлений сейсмических волн.

* Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), Россия

6. Рахматова Анна Юрьевна*, Тарасов Д.А.*, Черепанова О.С.*, Сергеев А.П.*****

Прогнозирование распределения хрома и меди в почве г. Тарко-Сале при помощи гибридной модели на основе искусственных нейронных сетей и кригинга

* Уральский федеральный университет (Екатеринбург), Россия

*** Институт промышленной экологии УрО РАН (Екатеринбург), Россия

7. Новиков Михаил Александрович*

Численное моделирование волновых полей в средах с мезомасштабными неоднородностями, заполненными поропругим материалом

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

13:00-14:00 Обеденный перерыв

14:00-16:00 Вычислительные технологии (заседание 2)

1. Никитин Александр Алексеевич*, Дучков А.А.*, Сердюков А.С.*

Параллельные Sweeping алгоритмы решения уравнения эйконала для задач сейсморазведки

* Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), Россия

2. Матвеев Алексей Сергеевич*, Дучков А.А.*

Параллельный алгоритм быстрого преобразования Фурье на нерегулярных сетках с блочным разбиением

* Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), Россия

3. Дудаев Александр Русланович*, Глинских В.Н.*

Гетерогенные CPU-GPU вычисления в задаче электрокаротаж нефтяных скважин

* Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), Россия

4. Марков Павел Владимирович*

Применение непрерывных групп симметрий для генерации численных решений на примере разностных схем уравнения фильтрации газа

* Тюменский государственный университет (Тюмень), Россия

5. Смолехо Ирина Владимировна*

Численное моделирование акустических волн в жидком кристалле с использованием технологии CUDA

* Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

6. Куликов Игорь Михайлович*

Образование молекулярного облака в ходе развития МГД турбулентности межзвездной среды с учетом химокинетики

* Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

16:00-16:20 Перерыв (кофе-брейк)

16:20-17:30 Вычислительные технологии (заседание 3)

1. Ицкович Мария Александровна*

О налогообложении капитала в дискретных аналогах модели Рамсея — Солоу

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

2. Ле Мынг Куанг*, Лемперт А.А.**

Размещение логистических центров при точечном и непрерывном распределении потребителей

* Иркутский национальный исследовательский технический университет (Иркутск), Россия

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

3. Крахалёв Антон Анатольевич*

О стохастических параметрах, влияющих на функционирование рынка недвижимости.

* Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

4. Бурмистров Александр Васильевич*, Коротченко М.А.***, Reisswich M.***

Моделирование цены методом Монте-Карло в рамках модели больцмановского типа

* Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

** Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

*** Technische Universität München (Мюнхен), Германия

11:00-13:00 Информационные технологии (заседание 1)

1. Перепелкин Владислав Александрович*, Софронов И.В.**, Ткачёва А.А.*

Оптимизирующая компиляция фрагментированных программ на базе вычислительных моделей

* Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

** Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

2. Черноскутов Михаил Александрович*

Использование параллельных вычислений для обработки графов

* Уральский федеральный университет (Екатеринбург), Россия

3. Егоров Юрий Алексеевич*

Модификация алгоритма Ульмана для многопроцессорных систем

* Тюменский государственный университет (Тюмень), Россия

4. Городилов Михаил Андреевич*, Долговесов Б.С.*, Шадрин М.Ю.*

Система отображения и регистрации аудиовизуальной информации для тренажерных комплексов

* Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия

5. Савин Максим Андреевич*

Разработка программно-аппаратного комплекса для отображения зон активности коры головного мозга человека

* Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

6. Клименко Александра Игоревна*, Мустафин З.С.*, Матушкин Ю.Г.*, Лашин С.А.*

ГЭК 3D: инструмент для многоуровневого моделирования пространственно-распределённых микробных сообществ

* Институт цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск), Россия

13:00-14:00 Обеденный перерыв

14:00-16:00 Информационные технологии (заседание 2)

1. Жарков Максим Леонидович*

О моделировании транспортно-пересадочного узла с использованием многофазных систем массового обслуживания

* Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

2. Белоусова Дарья Александровна*, Молокова Н.В.*, Фирчук Ж.В.*, Окишев С.С.*

Разработка программного комплекса по интерпретации полевых данных аппаратуры электромагнитного исследования геологической среды

* Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

3. Медведев Алексей Михайлович*, Сизов М.М.**, Старостенко А.А.*

Архитектура системы управления установки электронно-лучевой сварки.

* Институт ядерной физики СО РАН (Новосибирск), Россия

** Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия

4. Парыгин Александр Викторович*, Зюбин В.Е.*, Вольф А.А.*, Достовалов А.В.*, Бабин С.А.*

2D система стабилизации положения оптического волокна

* Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия

5. Соболев Александр Николаевич*, Епихин А.М.**, Епихин А.А.***, Шашков В.Л.**

Разработка программного обеспечения для универсального контроллера RedEye

* ООО «Системы промышленной автоматизации» (Красноярск), Россия

** Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» Красноярского научного центра СО РАН (Красноярск), Россия

6. Розов Андрей Сергеевич*

Методика программирования открытых микроконтроллерных платформ на основе гиперавтоматов

* Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия

16:00-16:20 **Перерыв (кофе-брейк)**

16:20-17:30 **Информационные технологии (заседание 3)**

1. Финкельштейн Евгения Александровна*, Горнов А.Ю.*, Бакланов А.П.**

Вычислительные технологии аппроксимации множеств достижимости применительно к исследованию климатическо-экономической модели

* Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

** Институт математики и механики УрО РАН (Екатеринбург), Россия

2. Воронов В.А.*, Апанович Данил Владимирович**

Аппроксимация множеств достижимости импульсных управляемых систем на основе методов поверхности уровня

* Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

** Иркутский государственный технический университет (Иркутск), Россия

3. Старицын Максим Владимирович*, Сорокин С.П.*

Вычислительная технология решения задач оптимального импульсного управления на основе метода позиционного варьирования

* Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

4. Воронов Всеволод Александрович*, Самсонок О.Н.*

Условия оптимальности импульсных процессов с разрешающими множествами функций типа Ляпунова

* Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

17:30-18:00 **Подведение итогов и закрытие конференции**

1. Вычислительные технологии

1.1. Абашиш Р.С. Моделирование тепловизионного изображения методом Монте-Карло

Работа посвящена разработке модели тепловизионного изображения. Предположим, что регистрирующая матрица расположена в плоскости $x = 0$. Поскольку тепловое излучение происходит с поверхности тел, распределение излучателей моделируется как набор плоских фигур, перпендикулярных оси X , расположенных на различных расстояниях от плоскости $x = 0$. Благодаря оптической системе, излучение от каждого участка поверхности фокусируется на определённый пиксель матрицы. При некоторых условиях [1], поток излучения $\Phi(\lambda)$ от элементарного источника к элементарному детектору можно записать следующим образом

$$\Phi(\lambda) = C_0 \varepsilon(\lambda) L(\lambda, T). \quad (1)$$

Здесь λ — длина волны; T — абсолютная температура; $\varepsilon(\lambda)$ — спектральный коэффициент теплового излучения; $L(\lambda, T)$ — энергетическая яркость; C_0 — постоянная, зависящая от геометрических характеристик оборудования.

В работе поток (1) вычислялся методом Монте-Карло (см., например, [2]). От каждой малой площадки с центром в точке A_i моделировался поток фотонов. Для этого на текущем временном шаге разыгрывались длина волны λ_0 с равномерным распределением в диапазоне $[\lambda_1; \lambda_2]$ и флуктуация температуры δT , имеющая нормальное распределение с центром в нуле и дисперсией σ_T^2 . Вероятность излучения фотона с длиной волны λ_0 считается пропорциональной $\varepsilon(\lambda_0, A_i) L(\lambda_0, T(A_i) + \delta T)$. Дальнейшая «судьба» испущенного фотона разыгрывалась следующим образом. Он может поглотиться в атмосфере, рассеяться, либо попасть на элемент регистрирующей матрицы, принимающий излучение из окрестности точки A_i . Вероятности соответствующих процессов $P_a(\lambda_0, x_i)$, $P_s(\lambda_0, x_i)$, $1 - P_a(\lambda_0, x_i) - P_s(\lambda_0, x_i)$, где x_i — расстояние от A_i до плоскости $x = 0$. В случае рассеяния, которое предполагается изотропным по направлениям, фотон может попасть в какой-либо другой элемент матрицы, увеличив тем самым зарегистрированный им сигнал.

При моделировании тепловизионных изображений число шагов по времени составляло $10^5 \dots 10^7$. Полученные изображения анализировались с целью описания искажений, обусловленных различными факторами.

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

Список литературы

- [1] Колочкин В. Я., Мосягин Г. М. Тепловизионные приборы и системы / М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 59 с.
- [2] Соболев И. М. Метод Монте-Карло / М.: Наука, 1968. — 64 с.

1.2. Абрамов Т.В. Оценка влияния схемной диффузии при численном моделировании неустойчивости Рэлея — Тейлора на регулярных стеках

В работе реализованы два варианта численного решения уравнения переноса в задаче трехмерного моделирования неустойчивости Рэлея — Тейлора в высоковязкой и однородновязкой ньютоновской жидкости с кусочно-постоянной плотностью [1]. Задача решается в виде последовательности квазистационарных состояний, связанных эволюционным уравнением (уравнением переноса), которое может быть сформулировано либо относительно границ S_i между участками жидкостями с одинаковой плотностью, либо относительно распределения плотности. В первом случае модель задается актуальной конфигурацией границ S_i между участками жидкости с одинаковой плотностью. Поток массы через границы отсутствует, поэтому такое представление однозначено. В программе границы реализованы в виде 3D полигональных сеток, а решение уравнения переноса представляет собой перемещение вершин этой сетки полем течения \mathbf{v} . Второй подход работает с моделью, заданной с помощью регулярной трехмерной сетки плотности, на которой решается уравнения переноса, сформулированное относительно поля плотности. Для его решения использовалась схема с разностями против потока.

Первый подход намного сложнее второго в реализации, но использование границ в явном виде исключает появление искусственной (схемной) диффузии [2] при решении эволюционного уравнения. Показано влияние схемной диффузии во втором подходе на решение задачи, и возможность пренебречь ей в пользу упрощения программы.

*Работа выполнена при поддержке СО РАН (программа фундаментальных научных исследований VIII. 73.2) и РФФИ (грант № 16-35-00443-мол. а).
Научный руководитель — д.ф.-м.н., профессор Лаврентьев М. М.*

Список литературы

- [1] АБРАМОВ Т. В. Массивно-параллельный расчет неустойчивости Рэлея — Тейлора с помощью аналитического выражения функции Грина соответствующей краевой задачи // Вычисл. технологии. — 2015. — Т. 20, № 4, С. 3–16.
- [2] PATANKAR S. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow / N.Y.: Hemisphere Publ. Corp., 1980. — 197 p.

1.3. Алеев Н.Р., Семисалов Б.В., Голушко С.К. Расчет осевого сжатия сетчатой цилиндрической оболочки из углепластика

Анизогридные конструкции представляют собой сетчатые оболочки из однонаправленного углепластика, обладающие повышенными удельными характеристиками жёсткости и прочности. Такие конструкции обладают значительными перспективами в авиационной и ракетно-космической отраслях.

В работе поставлена и решена пространственная краевая задача нелинейно-упругого деформирования анизотридной цилиндрической оболочки. Условия на границах конструкции соответствуют стартовым нагрузкам на переходной отсек первой ступени ракетоносителя «Протон». Математическая модель деформирования построена исходя из трёх основных групп уравнений пространственной теории упругости: уравнений равновесия, кинематических и физических соотношений. Для осреднения характеристик жёсткости сетчатых конструкций используется континуальный подход и концепция «размазывания» [1]. Численное решение задачи деформирования тонких оболочек представляет существенную сложность и требует использования новых вычислительных алгоритмов, обладающих высокой точностью и устойчивостью. Для достоверного расчёта поведения анизотридной конструкции используются методы приближений без насыщения [2], где в качестве разложения неизвестных функций используются базис Фурье и базис, состоящий из многочленов Чебышёва. Использование таких методов, в отличие от методов конечных элементов, гарантирует высокую точность решения и значительное преимущество в количестве операций для достижения требуемой точности. Работа состоит из трёх этапов [3]: вывод разрешающей системы уравнений в среде Wolfram Mathematica, создание программы синтаксического анализа для преобразования выражений разрешающей системы из Mathematica в Java, реализация нелокального алгоритма без насыщения в рамках комплекса программ АНИЗОГРИД [4] для расчёта осевого сжатия цилиндрической оболочки.

Список литературы

- [1] ОБРАЗЦОВ И. Ф., РЫБАКОВ Л. С., МИШУСТИН И. В. О методах анализа деформирования стержневых упругих систем регулярной структуры // Механика композиционных материалов и конструкций. — 1996. — Т. 2, № 2, С. 3–14.
- [2] БАБЕНКО К. И. Основы численного анализа / М.: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. — 744 с.
- [3] АЛЕЕВ Н. Р. Об одном подходе к моделированию нелинейно-упругого деформирования анизотридных оболочек из углепластика // Матер. 54-й Междунар. Науч. Студ. Конф. (ISSC). — Новосибирск. — С. 112.
- [4] СЕМИСАЛОВ Б. В. Нелокальный алгоритм поиска решений уравнения Пуассона и его приложения // Журн. выч. мат. и матем. физ. — 2014. — Т. 54, № 7, С. 1110–1135.

1.4. Алипова К. А. Сравнение двух численных методов решения задачи Стефана

В работе изучается вопрос математического моделирования промерзания грунта в задачах метеорологии. В последние десятилетия происходят необратимые процессы изменения климата, которые приводят к изменению процессов, протекающих в поч-

ве, в частности, в областях вечной мерзлоты. Математическая модель промерзания грунта может применяться в задачах строительства, сельского хозяйства, а также в численном прогнозе погоды. В последнее время активно развиваются математические модели атмосферы со сверхвысоким разрешением, которые требуют явного описания процессов, протекающих в грунте, вместо параметризаций.

При установлении на поверхности грунта температуры, которая ниже температуры замерзания, образуется промерзший слой переменной толщины. Нижняя подвижная граница его всегда имеет температуру замерзания, и в этой точке происходит фазовый переход вещества из одного состояния в другое. В результате мы получаем задачу Стефана (или задачу с подвижной границей).

В работе рассматривались два метода — метод ловли фронта в узел пространственной сетки и метод преобразования координат. Идея метода ловли фронта заключается в выборе шага по времени из условия, чтобы за этот временной промежуток граница фазового перехода смещалась ровно на один шаг пространственной сетки. Недостаток данного метода заключается в невозможности задания произвольного шага по времени. В связи с этим в работе был рассмотрен второй метод — метод преобразования координат. Этот метод предполагает переход к новой пространственной переменной, что позволит существенно упростить расчёты и сделает возможным задавать произвольный шаг по времени. Применение метода преобразования координат даёт возможность использовать математическую модель промерзания грунта с данным методом в мезомасштабных моделях.

Оба описанных выше метода были исследованы на порядок погрешности аппроксимации и устойчивость. Проведено сравнение результатов расчётов с использованием данных методов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президента РФ (грант № МК-6896.2015.5).

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Богословский Н. Н.

1.5. Антипова Е. А., Крылова А. И., Первозкин Д. В. Численное моделирование гидравлического режима дельты реки Лена

Работа посвящена численному моделированию гидравлического режима дельты реки Лена на основе системы уравнений Сен-Венана, описывающих неустановившееся движение речного потока в одномерном приближении.

В качестве численного метода решения исходных дифференциальных уравнений используется абсолютно устойчивая неявная разностная схема, предложенная в работе [1]. Реализация данного метода зависит от типа рассматриваемого разветвленного русла. При решении получившейся замкну-

той системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) для разветвлений с «кольцами» учитывается структура одномерного графа «дерево», а для простых разветвлений без «колец» используется метод параметрической прогонки. В работе рассматривался также другой способ решения получающихся СЛАУ — метод FGMRES с методом Качмажа в качестве предобуславливателя.

Для исследования сходимости численного решения к точному, а также для проверки правильности работы программы был проведен численный эксперимент. При определенных дополнительных ограничениях на параметры русла система уравнений Сен — Венана сводится к параболическому уравнению конвекции — диффузии, описывающему перемещение паводочных волн [2]. При постоянном коэффициенте диффузии и постоянной скорости конвекции полученное уравнение имеет аналитическое решение, которое было найдено с помощью метода Фурье. Выполнен сравнительный анализ полученного точного решения с численным.

Проведен вычислительный эксперимент по расчету расхода воды и уровня свободной поверхности для одной из главных судоходных протоков дельты реки Лена — Быковской протоки, а также для всей сложной многорукавной дельты реки. Для численного моделирования неустановившегося движения водного потока в сложной системе русел использовалась цифровая модель рельефа, взятая из работы [3]. Результаты позволяют утверждать, что используемая численная модель удовлетворительно описывает гидравлический режим дельты.

Список литературы

- [1] Воеводин А. Ф., Никифоровская В. С., Овчарова А. С. Численные методы решения задачи о неустановившемся движении воды на устьевых участках рек // Тр. ААНИИ. — 1983. — Т. 378, С. 23–34.
- [2] Семенчин Е. А., Вандина Н. В. Анализ системы уравнений Сен-Венана аналитическими и численными методами // Науч. журн. КубГАУ. — 2010. — № 64 (10), С. 1–14.
- [3] Shlyukhov V. A., Platov G. A., Krylova A. I. A coupled hydrodynamic system of the Lena River delta and the Laptev Sea shelf zone: the model tuning and preliminary results of numerical simulation // Bull. NCC. Ser.: Num. Model. In Atmosph. — 2014. — Vol. 14, P. 81–103.

1.6. Архипов Д. А., Штабель Е. П. Сравнение двух типов возбуждения поля в скважинной геоэлектрике

Исследование околоскважинного пространства электромагнитными методами выполняется преимущественно с помощью частотного способа возбуждения поля. Как правило, это делается с помощью геофизических зондов с индукционными катушками, опускаемых в скважину. Возбуждение и измерение поля при этом происходят на одной

выбранной рабочей частоте. В работе рассмотрен способ возбуждения поля в скважине — импульсный сигнал. Импульсный генераторный сигнал позволяет получать информацию об отклике среды в широком диапазоне частот одновременно. Ввиду нестационарности задачи математическое моделирование электромагнитного поля, создаваемого зондом с импульсным генераторным сигналом, требует проведения длительных расчетов. Для сокращения временных и вычислительных затрат предложено заменить решение одной задачи по времени на несколько частотных задач, соответствующих частотному спектру исходного импульсного сигнала, полученному с помощью дискретного быстрого преобразования Фурье [1]. Решение частотных задач выполняется параллельно, что существенно сокращает временные затраты. Вычислительные схемы, использованные для решения задач, были построены на базе векторного метода конечных элементов с использованием специального многоуровневого решателя [2].

В работе проведено математическое моделирование электромагнитного поля от тороидальной катушки с магнитным сердечником. Моделирование показало, что поле, создаваемое тороидальной катушкой, имеет большие амплитуды. Моделирование для обсаженных скважин показало низкую эффективность проведения измерений в скважине, в которой находится генераторная катушка. Для оценки отклика среды на возмущение электромагнитного поля необходимо проводить измерения в специальной измерительной необсаженной скважине.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-29-15094-офи_м).

Список литературы

- [1] Эпов М. И., Шурина Э. П., Штабель Е. П., Штабель Н. В. Трехмерное моделирование импульсных зондирований с использованием быстрого преобразования Фурье // Геология и геофизика. — 2016. — Т. 57, № 2, С. 411–420.
- [2] Shurina E. P., Arkhipov D. A. Multilevel algebraic methods of modeling the 3D electromagnetic field // Actual problems of electronics instrument engineering (APEIE). — Novosibirsk, 2014. — P. 611–616.

1.7. Батуева Ц. Ч. О циклах в дискретных динамических системах циркулянтного типа

Корни данной задачи лежат в исследованиях генных сетей [1]. Объектом исследования является система (см., например, [2–4]). Она, во-первых, состоит из некоторого ориентированного графа $G = \langle V, E \rangle$, где $V = \{0, 1, \dots, n-1\}$. Во-вторых, в каждой вершине графа зафиксированы функции $f_i : Z_q^n \rightarrow Z_q$. Пусть вершины графа помечены значениями v_i из множества Z_q . Набор $\tilde{v} = (v_0, v_1, \dots, v_{n-1}) \in Z_q^n$ называется *состоянием* системы. В следующий момент работы системы его состояние пересчитыва-

ется по функциям в вершинах сети. Значения переменных функции f_i равны значениям меток вершин, из которых выходят ребра в вершину v_i . Таким образом выстраивается *функциональный граф*, то есть ориентированный граф с множеством вершин Z_q^n , где состояния \tilde{v} и \tilde{u} соединены ребром, если за один шаг работы системы можно из состояния \tilde{v} перейти в состояние \tilde{u} .

В данной работе рассматривается случай системы, когда во всех вершинах сети стоят одинаковые функции. Нами было получено, что для систем с булевыми пороговыми функциями в вершинах сети все циклы делятся на три класса: два из них описаны в работе [4], а состояния третьего класса такие, что за два шага работы системы они переходят в свой циклический сдвиг.

Таким образом, циклы систем с пороговыми булевыми функциями в вершинах сети получают модификациями циклического сдвига. Для систем с не пороговыми булевыми функциями в вершинах сети такая закономерность не прослеживается.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-01-00507).

Список литературы

- [1] Демиденко Г.В., Колчанов Н.А., Лихошвай В.А., Матушкин Ю.Г., Фадеев С.И. Математическое моделирование регулярных контуров генных сетей // Журн. выч. мат. и матем. физ. — 2004. — Т. 44, № 12, С. 2276–2295.
- [2] Евдокимов А.А. Дискретные модели генных сетей: анализ и сложность функционирования // Вычисл. технологии. — 2008. — Т. 13, № 3, С. 31–37.
- [3] Евдокимов А.А., Кочемазов С.Е., Семенов А.А. Применение символьных вычислений к исследованию дискретных моделей некоторых классов генных сетей // Вычисл. технологии. — 2011. — Т. 16, № 1, С. 30–47.
- [4] Батуева Ц. Ч.-Д. Дискретные динамические системы циркулянтного типа с пороговыми функциями от не более чем трех переменных // Дискретный анализ и исследование операций. — 2016. — Т. 23, № 1, С. 17–34.

1.8. Беляев В.А. Метод коллокации и наименьших невязок для решений задач математической физики в неканонических областях

Предложены и реализованы варианты метода коллокации и наименьших невязок (КНН) для численного решения краевых задач для уравнений Пуассона и бигармонического в неканонических областях (в произвольном выпуклом четырехугольнике, в произвольном треугольнике и в области с криволинейной границей). Дифференциальные задачи методом КНН проектировались в пространство полиномов четвертой степени. Граничные условия для приближенного решения выписывались точно на границе расчетной области Ω . В ячейках, которые пересекала граница, использованы законтур-

ные точки для записи уравнений коллокации и условий согласования.

Сначала рассматриваемый подход был испытан на решении с повышенной точностью задачи Дирихле для уравнения Пуассона.

Решение второй задачи применялось для расчета напряжённо-деформированного состояния изотропной пластины, находящейся под действием поперечной нагрузки. Оно описывается решением бигармонического уравнения

$$\frac{\partial^4 w(x_1, x_2)}{\partial x_1^4} + 2 \frac{\partial^4 w(x_1, x_2)}{\partial x_1^2 \partial x_2^2} + \frac{\partial^4 w(x_1, x_2)}{\partial x_2^4} = \frac{q(x_1, x_2)}{D}, \quad (x_1, x_2) \in \Omega,$$

с соответствующими краевыми условиями. Здесь $w(x_1, x_2)$ — прогиб срединной поверхности; $q(x_1, x_2)$ — поперечная нагрузка; D — жёсткость пластины при изгибе.

Численные эксперименты проведены с использованием различных тестовых решений исходных задач на последовательности сеток размеров 20×20 , 40×40 , 80×80 и 160×160 . Результаты расчетов показали, что приближенные решения сходятся с повышенным порядком и с высокой точностью совпадают с аналитическими решениями.

1.9. Берендеев Е.А., Дудникова Г.И., Ефимова А.А. Моделирование на суперЭВМ генерации электромагнитного излучения при взаимодействии электронного пучка с плазмой

Работа посвящена численному моделированию генерации высокочастотного электромагнитного излучения в открытой системе плотная плазма — релятивистский электронный пучок.

Рассматривается двумерная численная модель, включающая в себя инжекцию электронного пучка в плазму и открытые граничные условия. При этом электронный пучок, входящий в плазму вдоль магнитного поля через одну границу и покидая её через другую, обеспечивает непрерывную накачку плазменных колебаний. Такая постановка требует рассмотрения достаточно протяженной области плазмы, внутри которой происходит захват пучка полем возбуждаемой волны. Поперёк магнитного поля плазма граничит с вакуумным промежутком и поглощающими стенками, что позволит сравнивать потоки выходящего из плазмы излучения с экспериментальными данными. Рассматриваемая модель построена на основе метода частиц в ячейках. Создан алгоритм параллельных вычислений, позволяющий проводить расчёты на современных вычислительных комплексах массивно-параллельной архитектуры. Проведена серия вычислительных экспериментов для различных параметров фоновой плазмы, пучка и магнитного поля. Исследовано влияние

граничных условий на основные процессы, происходящие в плазме.

Разработка алгоритмов параллельных вычислений и проведение расчётов на суперЭВМ выполнены при поддержке РНФ (грант № 16-11-10028), математическая модель для описания взаимодействия электронного пучка с плазмой — при поддержке РФФИ (гранты № 14-01-00392, 16-01-00209).

1.10. Бондарева Л.В. Распространение нерастворенных примесей в затопленных подземных выработках на примере ш. Кольчугинской

В настоящее время на очистных сооружениях угольных предприятий региона наряду с традиционными способами очистки применяется очистка в отработанных горных выработках закрытых и затопленных угольных шахт. Предполагается, что в шахтах будет происходить естественная очистка сточных вод за счет отстаивания и разбавления фильтрующимися в выработанное пространство грунтовыми водами. Метод реализуется для очистки шламовых стоков углеобогадательной фабрики «Комсомолец» в отработанных выработках ш. «Кольчугинская».

Выработка представляет собой так называемый «черный ящик», поэтому для изучения происходящих внутри процессов очистки лучше всего подходит математическое моделирование и вычислительные эксперименты. В настоящее время не существует моделей, учитывающих особенности очистки шламовых стоков от взвешенных примесей, образование и слеживание осадка, а также влияние гидродинамических факторов на качество очистки и время безопасного использования такого очистного сооружения, как отработанная горная выработка. В данной работе предлагается математическая модель, учитывающая все эти факторы.

Математическая модель представлена в виде дифференциальных уравнений в частных производных с начальными и краевыми условиями и состоит из системы уравнений Навье — Стокса или уравнения Гельмгольца и уравнений переноса примеси. Для решения используется метод сеток. Уравнения параболического типа решаются неявной схемой стабилизирующих поправок. Разностные эллиптические уравнения решаются методом минимальных невязок неполной аппроксимации с параметром — матрицей с использованием покомпонентной и глобальной оптимизации итерационных параметров.

В работе приводятся результаты численного моделирования, полученные для примесей разных фракций, оседающих и всплывающих примесей. Приводятся оценки времени «безопасного» использования отработанной горной выработки как очистного сооружения и сравнение с натурными данными. Все расчеты получены со значениями параметров, отвечающими реальным размерам ш. «Кольчугинская».

1.11. Бурмистров А.В., Коротченко М.А., Reisswich M. Моделирование цены методом Монте-Карло в рамках модели больцмановского типа

В докладе рассматривается система из двух кинетических уравнений больцмановского типа, которая возникает в соответствующей модели формирования цены (см. [1]) и описывает поведение двух плотностей: цен спроса и предложения. В этой модели, помимо стандартных случайных колебаний цены, присутствуют дискретные события — сделки между покупателями и продавцами. Сделки такого типа можно интерпретировать как результат кинетического взаимодействия пары частиц при моделировании динамики многочастичной системы (т.е. системы, в которой присутствует большое количество покупателей и продавцов) с помощью соответствующих марковских цепей. Причем отношение текущей частицы к одной из двух групп (покупатели или продавцы) может рассматриваться как дополнительная фазовая координата.

Для численной оценки функционалов от решения исходной системы уравнений строятся новые весовые алгоритмы метода Монте-Карло и исследуются их трудоемкости.

Предложенный подход позволяет изучать параметрические зависимости искомым функционалов (например, от таких параметров, как частота сделок или цена транзакции).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 14-01-00340, 16-01-00530).

Список литературы

- [1] BURGER M., CAFFARELLI L., MARKOWICH P., WOLFRAM M.-T. On a Boltzmann-type price formation model // Proc. R. Soc. A. — 2013. — Vol. 469, N 2157, 20130126.

1.12. Витова Т.Б. Исследование чувствительности модели движения людей SIGMA.DC к входным данным

Моделирование движения людей в ограниченном пространстве является актуальной задачей и применяется для решения задач безопасности. Разработана дискретно-непрерывная модель движения людей SIGMA.DC [1].

В модели новое положение человека определяется через предыдущее и сдвиг $v(\rho) \Delta t$, величина которого зависит от локальной плотности ρ [1/м²] на текущем расчетном шаге. Направление сдвига определяется согласно вероятностному алгоритму [1].

В настоящее время существует несколько способов [2,3] определения скорости движения человека v [м/с] от ρ [1/м²], включая аналитические зависимости и табличные данные. Задача исследования заключается в том, чтобы выяснить, как различные способы вычисления v в зависимости от ρ влияют на качество моделирования процесса движения людей.

Для проведения вычислительного эксперимента рассмотрена задача движения людей в прямом коридоре 2×50 [м²] с периодическими граничными условиями. В начальный момент времени люди равномерно распределены по всей вычислительной области. Для каждого способа вычисления v от ρ [2], [3] исследуется время движения в зависимости от количества людей N в области. Число N изменяется от 30 до 600. По полученным данным построены модельные зависимости $v^{\text{мод}}(\rho)$ для каждого способа вычисления v от ρ и проведено сравнение с натурными данными $v(\rho)$ [2, 3].

Наблюдается хорошее совпадение $v^{\text{мод}}(\rho)$ и $v(\rho)$ при $\rho \leq 2,5$ [1/м²] для всех исследуемых зависимостей v от ρ . Дано объяснение данному факту. При более высоких плотностях данные вычислительных и натурных экспериментов расходятся, что требует дополнительного исследования.

Список литературы

- [1] KIRIK E., MALYSHEV A. A discrete-continuous agent model for fire evacuation modeling from multistory buildings // Civil Engineering and Urban Planning III. — 2014. — P. 5–8.
- [2] Холщевников В. В., Самошин Д. А. Эвакуация и поведение людей при пожарах: учебное пособие / М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. — 212 с.
- [3] WEIDMANN U. Transporttechnik der Fussgänger. Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs (Literaturauswertung) / Zürich: IVT, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen-und Eisenbahnbau, 1992. — 110 p.

1.13. Вьюнник Н.М. Численное моделирование движения жидкости с переменной плотностью и вязкостью

В данной работе предлагается математическая модель процесса концентрирования раствора высокомолекулярных веществ. Раствор представляется вязкой несжимаемой жидкостью с переменной плотностью и вязкостью, расчеты выполняются в цилиндрической области. В работе также принимается допущение осевой симметрии расчетной области.

Движение жидкости в цилиндрической области описывается уравнениями Навье — Стокса в цилиндрических координатах (r, ϵ, z) . Система уравнений решается методом расщепления. Первым этапом вычисляются предварительные значения скоростей. Предварительные скорости на данном этапе находятся с помощью схемы стабилизирующих поправок. Вторым этапом по предварительным скоростям рассчитывается давление. В реализации этого этапа используется метод минимальных невязок. Третий этап предполагает нахождение скоростей явным методом, используя приближение скорости и ранее рассчитанное давление. Уравнение на Концентрацию решаем методом продольно-поперечной прогонки. Последний этап включает в себя расчет новых значений вязкости и плотности по уже известным значениям поля концентрации.

Разработанная математическая модель позволяет изучать свойства течения при различных параметрах, таких как давление на границах входа и выхода жидкости, концентрация, характер распространения примеси в области течения.

Работа выполнена в рамках проектной части Государственного задания № 1.630.2014/К.

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

Список литературы

- [1] ЛОБАСЕНКО Б. А., ШУШПАННИКОВ А. С., СЕМЁНОВ А. Г., ЗАХАРОВ Ю. Н. Патент на изобретение № 2506991 Аппарат для мембранного концентрирования // Заявка № 2012168966. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 февраля 2014 г.
- [2] ЗАХАРОВ Ю. Н., ЛОБАСЕНКО Р. Б., РАГУЛИН В. В. Математическое моделирование нестационарных мембранных процессов // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2004. — № 10, С. 16–19.
- [3] ЛОБАСЕНКО Р. Б., СЕМЁНОВ А. Г., ЗАХАРОВ Ю. Н. Ультрафильтрация: Теория и практика / Новосибирск: Наука, 2015. — 204 с.

1.14. Гермидер О.В., Попов В.Н. Математическое моделирование процесса переноса тепла в прямоугольном канале в задаче о течении Пуазейля с зеркально-диффузными граничными условиями

В рамках кинетического подхода рассматривается задача о теплопереносе в длинном канале прямоугольного сечения. Предполагается, что в канале поддерживается постоянный градиент давления, направленный вдоль оси симметрии канала. В качестве уравнения, описывающего кинетику процесса, использовано уравнение Вильямса [1]

$$v_x \frac{\partial f}{\partial x'} + v_y \frac{\partial f}{\partial y'} + v_z \frac{\partial f}{\partial z'} = \frac{\omega}{\gamma l_g} (f_* - f). \quad (1)$$

Здесь $\omega = |\mathbf{v} - \mathbf{u}(\mathbf{r}')|$; \mathbf{v} — скорость молекул газа; $\mathbf{u}(\mathbf{r}')$ — массовая скорость газа, \mathbf{r}' — размерный радиус-вектор, l_g — средняя длина свободного пробега молекул газа, $\beta = m/(2k_B T_0)$, $\gamma = 5/2$; m — масса молекулы газа; k_B — постоянная Больцмана; T_0 — температура газа в некоторой точке, принятой в качестве начала координат;

$$f_* = n_* \left(\frac{m}{2\pi k_B T_*} \right)^{\frac{3}{2}} \exp \left(-\frac{m}{2k_B T_*} (\mathbf{v} - \mathbf{u}_*)^2 \right). \quad (2)$$

Параметры n_* , T_* и \mathbf{u}_* в функции (2) выбирают из условия, что модельный интеграл столкновений в уравнении (1) должен удовлетворять законам сохранения числа частиц, импульса и энергии [2]. В качестве граничного условия использована модель зеркально-диффузного отражения молекул газа стенками канала [2]. Получено выражение для потока тепла через поперечное сечение канала как функции от градиента давления, отношения сторон

прямоугольного сечения, значений числа Кнудсена и коэффициента аккомодации тангенциального импульса. Построен профиль вектора потока тепла в канале. Проведен анализ полученных результатов при переходе к свободномолекулярному и гидродинамическому режимам.

Работа выполнена в рамках Государственного задания «Создание вычислительной инфраструктуры для решения наукоемких прикладных задач» (проект № 3628).

Список литературы

- [1] Гермидер О.В., Попов В.Н., Юшканов А.А. Вычисление в рамках кинетического подхода потока тепла в длинном канале постоянного прямоугольного поперечного сечения // Вест. МГОУ: Физико-математика. — 2015. — № 2, С. 96–106.
- [2] Черчиньяни К. Математические методы в кинетической теории газов / М.: Мир, 1973. — 245 с.

1.15. Герус А.И., Викулин А.В. Численное исследование параметров сейсмического процесса в блоковой ротационной модели движения геосреды

Для блоковой геосреды на примере сейсмического процесса в пределах окраины Тихого океана построена ротационная модель. В рамках этой модели волновое движение цепочки сейсмофокальных блоков математически представлено уравнением синус-Гордона (СГ). Это уравнение допускает решения в виде солитонов — уединенных волн, подобно частицам сохраняющих свою структуру после столкновения с другими такими возмущениями.

Для более точного описания реального сейсмического процесса уравнение СГ было дополнено малым ($\ll 1$) структурным возмущением, состоящим из эффектов неоднородности движения μ и трения на границах α :

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} - \frac{\partial^2 \theta}{\partial \eta^2} = \sin \theta + \alpha \frac{\partial \theta}{\partial \eta} + \mu \delta(\xi) \sin \theta. \quad (1)$$

Такое уравнение не имеет аналитических решений, но можно численно исследовать динамику изменения параметров (координаты X , скорости волны U и скорости поворотной деформации $\dot{\theta}$) его односолитонного решения, которые в присутствии малого структурного возмущения приобретают зависимость от времени. Задача сводится к системе из двух ОДУ, для численного решения которой была написана программа, реализующая метод Рунге — Кутты — Фельберга 4(5) порядка.

Проведенные нами расчеты позволили сформулировать следующие выводы.

1. При увеличении коэффициента трения α значения U_{max} , $\dot{\theta}_{max1}$, $\dot{\theta}_{max2}$, $\dot{\theta}_{min}$ уменьшаются, а их времена увеличиваются. Таким образом, процесс распространения солитона замедляется и сглаживается.

2. При увеличении значения коэффициента неоднородности μ , наоборот, увеличиваются значения U_{max} , $\dot{\theta}_{max1}$, $\dot{\theta}_{max2}$, $\dot{\theta}_{min}$, а их времена уменьшаются. Таким образом, моделируемый процесс идет быстрее и резче.

3. При одновременном увеличении или уменьшении значений α и μ меняется и временной масштаб процесса.

4. Асимптотическое значение X , т.е. X_{max} , при любых α и μ всегда соответствует равенству $X_{max} \approx R_0$, где R_0 — радиус блока.

5. Для любых α и μ волна достигает значений U_{max} , $\dot{\theta}_{min}$ и выхода X на асимптотику одновременно.

Кроме того, существуют еще и другие инвариантные величины, не зависящие от α и μ , но характерные для процесса в целом.

1. Отношение максимумов скорости деформации: $\dot{\theta}_{max2}/\dot{\theta}_{max1} \approx 2$. Такое значение очень близко к значению суммарных сейсмических энергий, выделяемых в течение форшоковой и афтершоковой стадий, которые соотносятся между собой в пропорции $\approx 2,3$.
2. Отношение продолжительностей максимумов скорости деформации: $\Delta T_{max2}/\Delta T_{max1} \approx 6$. Эта величина также довольно близка к другой характеристике сейсмического процесса — соотношению интервалов времени, в течение которых форшоки и афтершоки происходят относительно сильнейших толчков, значение которого составляет $\approx 6,3$.

Показано, что уравнение (1) в рамках ротационной модели позволяет количественно описать такие важные свойства сейсмического процесса, как его форшоковую и афтершоковую стадии и заключенное между ними сильнейшее землетрясение. При этом результаты численного моделирования сейсмического процесса согласуются с экспериментальными данными.

1.16. Гоголева А.Н., Лихачев А.В. Решение модели Стюарта — Левина методом Монте-Карло

В модели Стюарта — Левина рассматривается случай, когда в ферментёре присутствуют два типа клеток — бесплазмидные (тип 1) и плазмидосодержащие (тип 2) [1]. При контакте двух клеток разного типа клетка типа 1 может стать плазмидной, т.е. перейти в тип 2. Обратным является бесконтактный процесс потери клеткой типа 2 плазмиды и превращения её в клетку типа 1. Стюартом и Левиным была получена следующая система дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \dot{s} &= D(s_0 - s) - l_1 \mu_1 x_1 - l_2 \mu_2 x_2, \\ \dot{x}_1 &= (\mu_1 - D)x_1 - cx_1 x_2 + dx_2, \\ \dot{x}_2 &= (\mu_2 - D)x_2 + cx_1 x_2 - dx_2. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь x_1, x_2 — концентрации компонент; μ_1, μ_2 — удельные скорости их изменения, которые являются гладкими функциями концентрации лимитирующего субстрата s ; s_0 — его концентрация в поступающем потоке; D — удельная скорость потока; l_1, l_2 — коэффициенты, характеризующие потребности клеток в лимитирующем субстрате. Точкой над символами обозначены производные по времени.

Обычно системы, подобные (1), решаются конечно разностными методами. В настоящей работе предложен другой подход. Задаются начальные количества клеток $N_1^{(0)}, N_2^{(0)}$ и начальная концентрация $s^{(0)}$. Далее разыгрывается «судьба» каждой клетки. Она может быть вынесена потоком, уходящим из ферментёра, может поделиться или погибнуть. Соответствующие вероятности обозначим через $P_{out}, P_{1,b}(s), P_{2,b}(s), P_{1,d}(s), P_{2,d}(s)$ (вероятности деления и гибели клеток различного типа различны и зависят от концентрации лимитирующего субстрата). Кроме того, для каждой клетки есть возможность перейти в противоположный тип. В первом случае вероятность будет $P_{1,i}(N_2^{(0)})$, поскольку такое превращение совершается при попарном взаимодействии, во втором она будет постоянна: $P_{2,i}$. Клетки, не попавшие ни в один из указанных процессов, остаются без изменения. После такого перебора всех клеток, их количество в типе 1 станет $N_1^{(1)}$, а в типе 2 — $N_2^{(1)}$. Новая концентрация субстрата вычисляется по формуле

$$s^{(1)} = s^{(0)} + D(s_0 - s^{(0)}) - 0.5 \sum_{i=1}^2 l_i (N_i^{(0)} + N_i^{(1)}),$$

где l_i пересчитаны для одной клетки.

Описанные действия повторяются нужное число раз при изменённых соответствующим образом значениях параметров. Получающиеся при этом последовательности $N_1^{(n)}$ и $N_2^{(n)}$, характеризуют эволюцию системы. Результаты проведённого вычислительного эксперимента оказались не противоречащими выводам современной теории развития популяций бактерий на протоке.

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

Список литературы

- [1] STEWART F. M., LEVIN B. R. The population biology of bacterial plasmids: a priori conditions for the existence of conjugationally transformed factors // Genetics. — 1977. — Vol. 87, N 2, P. 209–228.

1.17. Головастикова Н.В., Быков Д.А., Досколович Л.Л. Описание дифракции оптического импульса на резонансной дифракционной решётке

Работа посвящена описанию преобразований, претерпеваемых оптическим импульсом при дифракции на резонансной дифракционной решётке. Данная задача представляет интерес для широкого

спектра приложений, включающих полностью оптическую обработку информации и аналоговые оптические вычисления. Целью работы было получение аналитического выражения для огибающей отражённого (прошедшего) оптического импульса.

Преобразование огибающей описано в терминах её прохождения через линейную систему с передаточной функцией, совпадающей с комплексным коэффициентом отражения (пропускания) дифракционной решётки. Для коэффициентов отражения и пропускания в окрестности частот собственной моды решётки получены аналитические аппроксимации в виде функций угловой частоты ω и компоненты волнового вектора падающего излучения k_x :

$$R(k_x, \omega) = \gamma_R \frac{v_g^2 k_x^2 - (\omega - \omega_{z,1}^R)(\omega - \omega_{z,2}^R)}{v_g^2 k_x^2 - (\omega - \omega_{p,1})(\omega - \omega_{p,2})},$$

$$T(k_x, \omega) = \gamma_T \frac{v_g^2 k_x^2 - (\omega - \omega_{z,1}^T)(\omega - \omega_{z,2}^T)}{v_g^2 k_x^2 - (\omega - \omega_{p,1})(\omega - \omega_{p,2})}. \quad (1)$$

При выводе выражений (1) использовался формализм матрицы рассеяния и подготовительная теорема Вейерштрасса. Параметры аппроксимации (1) могут быть получены в результате оптимизационной процедуры, включающей вычисление полюсов матрицы рассеяния.

Показано, что преобразование огибающей падающего импульса в общем виде можно описать дифференциальным уравнением в частных производных второго порядка. Окончательное выражение для огибающей отражённого (прошедшего) импульса получено в виде интеграла свёртки [1]. Показана возможность резонансных решёток выполнять операции временного и пространственного дифференцирования и интегрирования огибающей падающего импульса.

Теоретическое описание полностью подтверждается результатами строгого моделирования дифракции временных, пространственных и пространственно-временных импульсов на резонансных дифракционных решётках посредством численного решения уравнений Максвелла с использованием метода Фурье-мод [2].

Список литературы

- [1] GOLOVASTIKOV N. V., BYKOV D. A., DOSKOLOVICH L. L., SOIFER V. A. Analytical description of 3D optical pulse diffraction by a phase-shifted Bragg grating // Opt. Express. — 2016. — P. 18828–18842.
- [2] MOHARAM M., GAYLORD T., POMMET D., GRANN E. J. Implementation of the Rigorous Coupled Wave Analysis for Surface Relief Gratings: Enhanced Transmittance Matrix Approach // J. Opt. Soc. Amer. A. — 1995. — P. 1077–1086.

1.18. Гологуш Т.С., Черевко А.А., Остапенко В.В., Петренко И.А., Чупахин А.П. Численное моделирование и оптимизация процесса эмболизации артериовенозной мальформации на основе модели двухфазной фильтрации

Артериовенозная мальформация (АВМ) является сложным и опасным пороком развития сосудов головного мозга. Эндоваскулярная эмболизация АВМ является эффективным средством лечения таких патологий. Тем не менее, все еще существует опасность разрыва АВМ во время и в течении нескольких суток после операции. Цель данной работы состоит в том, чтобы смоделировать этот процесс и построить оптимизационный алгоритм эмболизации АВМ. Артериовенозная мальформация может адекватно моделироваться пористой средой в силу хаотического неупорядоченного расположения вырожженных сосудов различных малых диаметров, осуществляющих сброс крови из артерии в вену [1]. Процесс эмболизации в одномерном приближении описывается уравнением Баклея — Леверетта, которое решается численно с помощью новой модификации схемы Кабаре. Для проверки пригодности метода при расчёте задач эмболизации, были проведены численные эксперименты и сравнение расчетов с точными решениями.

Предложенная модель оптимальной эмболизации имеет две новые принципиальные особенности.

1. На процесс эмболизации накладывается требование об ограничении удельной нагрузки на узел АВМ при эмболизации. Это требование следует из нейрохирургической практики. Оно формулируется в виде ограничения:

$$\Delta E/V \leq W_{\max},$$

где ΔE — энергия, рассеивающаяся в АВМ за единицу времени; V — объём АВМ; W_{\max} — предельное допустимое значение удельной нагрузки.

2. Процесс эмболизации описывается как процесс оптимального управления, в котором, управляя концентрацией эмболизата на входе в АВМ, нужно добиться максимально возможной её эмболизации за конечное время при выполнении ограничения.

Показано, что оптимальное управление состоит из интервалов, на которых либо подача эмболизата на входе в АВМ достигает максимального значения, либо в процессе эмболизации постоянно поддерживается предельно допустимая нагрузка W_{\max} .

Список литературы

- [1] ПЕТРЕНКО И.А. Моделирование процесса эмболизации артериовенозной мальформации // Draft. — 2015.

1.19. Григорьев А.Е. Метод граничных элементов, модифицированный на основе быстрого метода мультиполей: сравнение с классическим МГЭ и методом конечных разностей на задачах стационарных течений Стокса

В представленной работе методом граничных элементов (МГЭ) [1], модифицированным на основе метода быстрых мультиполей, решается смешанная краевая задача для системы уравнений Стокса:

$$\begin{cases} \mu \Delta \mathbf{u} = \nabla p, \\ \operatorname{div} \mathbf{u} = 0 & \text{в } \mathbf{V}, \\ \mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}} & \text{на } \mathbf{S}_u, \\ \mathbf{t} = \bar{\mathbf{t}} & \text{на } \mathbf{S}_t. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь \mathbf{V} — область с криволинейной границей $\partial \mathbf{V} = \mathbf{S} = \mathbf{S}_u \cup \mathbf{S}_t$; \mathbf{u} — неизвестный вектор скорости; черта сверху означает известное значение. Вектор напряжений $\mathbf{t} = \{t_i = \sigma_{ij} n_j\}$, где σ_{ij} — тензор вязких напряжений, $n = \{n_j\}$ — внешняя единичная нормаль к \mathbf{S} , p — давление, μ — динамическая вязкость. Особенностью предложенной модификации МГЭ [2] является возможность нахождения неизвестных значений функции на границе и внутри области, не формируя напрямую результирующую матрицу СЛАУ задачи (1) в памяти компьютера. Необходимо лишь вычислить вспомогательные величины и построить квадродерево из групп граничных элементов (мультиполей), где взаимодействие при решении между отдельными элементами на границе \mathbf{S} подменяется на взаимодействие между отдельными мультиполями квадродерева. Таким образом, выполнив аппроксимацию границы граничными элементами, а также построив квадродерево мультиполей, можно решать СЛАУ итерационным методом без вычисления коэффициентов результирующей матрицы. Такая модификация позволяет решать задачи с сотнями тысяч узлов на границе при использовании персонального компьютера, при этом точность найденного решения отличается лишь на доли процента от решения классическим МГЭ.

Выполнено сравнение предложенной модификации с разностным методом решения, а также с исходным МГЭ на тестовой задаче течения в каверне с подвижной крышкой. Показано, что решение модифицированным МГЭ вычисляется значительно быстрее и точнее, чем получаемое при помощи МКР. В сравнении с решением классическим МГЭ, сохранение точности и скорости вычисления решения дополняется значительной экономией оперативной памяти, задействованной при вычислении.

Список литературы

- [1] POZRIKIDIS C. Boundary integral and singularity methods for linearized viscous flow / N.Y.: Cambridge univ. Press, 1992. — 259 p.
- [2] LIU Y. J. A new fast multipole boundary element method for solving 2-D Stokes flow problems based on a dual BIE formulation // Eng. Anal. with Bound. Eleme. — 2008. — Vol. 32, N 3, P. 139–151.

1.20. Гришин М.А., Булушев Е.Д., Бессмелъцев В.П. Численное моделирование импульсной лазерной абляции алюминия с учетом зависимости от температуры коэффициентов теплопроводности и объемного поглощения

Работа посвящена численному моделированию процесса абляции алюминия под действием импульсного Nd:YAG лазера. Учтены процессы: теплового испарения, взрывного вскипания, возникновения и нагрева плазменного облака [1]. Принималась во внимание зависимость от температуры таких параметров задачи как коэффициент теплопроводности λ и коэффициент объемного поглощения α [2]

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda(T) \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \alpha(T) I(t) \exp(-\alpha(T)x - \Lambda), \quad (1)$$

где $I(T)$ характеризует временную форму импульса (Гауссов пучок); Λ — оптическая толщина плазмы; ρ — плотность материала; c — теплоемкость.

Уравнение (1), дополненное начальными и граничными условиями, решалось конечно-разностным методом с использованием неявной абсолютно устойчивой схемы Кранка — Николсона. Для уменьшения времени расчета использовалась нерегулярная расчетная сетка: первые 500 узлов располагались на фиксированном расстоянии друг от друга (0.1 нм), далее шаг сетки увеличивался в геометрической прогрессии с $q = 1.005$.

Шаг по времени составил 0.5 пс. До непосредственного решения краевой задачи предварительно были созданы таблицы коэффициентов $\lambda(T)$ и $\alpha(T)$ в широком диапазоне температур, что также увеличило скорость расчета. При проведении моделирования был использован многоядерный сервер Intel Xeon E5-2660 (2 процессора по 40 ядер) 2.6 ГГц. Алгоритм численного решения был распараллелен.

В результате решения краевой задачи получены: скорость абляции $v(t)$, распределение температуры по слою материала $T(x, t)$, а также его толщина $h(t)$ в произвольные моменты времени, ограниченные сверху длительностью импульса. Полученные данные качественно согласуются с экспериментом [3].

Список литературы

- [1] BULGAKOVA N., BULGAKOV A. Pulsed laser ablation of solids: transition from normal vaporization to phase explosion // Appl. Phys. A Mater. Sci. Proc. — 2001. — P. 199–208.
- [2] GRAGOSSIAN A., TAVASSOLI S., SHOKRI B. Laser ablation of aluminum from normal evaporation to phase explosion // J. Appl. Phys, 2009. — P. 0–9.
- [3] STAFE M., NEGUTU C., POPESCU I. Theoretical determination of the ablation rate of metals in multiple-nanosecond laser pulses irradiation regime // Appl. Surf. Sci. — 2007. — P. 6353–6358.

1.21. Гришина А.А., Пененко А.В. Моделирование кинетики химических реакций с использованием схем вариационного усвоения данных

В работе представлен алгоритм применения вариационного усвоения данных [1] для задачи химической кинетики. Он заключается в совместном использовании данных измерений величин, характеризующих изучаемый процесс, и его математического моделирования. В работе сделан акцент на алгоритмах вариационного усвоения данных 3Dvar и 4Dvar. Они предполагают вычисление прогноза решения, получаемого на основе математической модели, и последующего его уточнения путем поиска минимума целевого функционала. Целевой функционал описывает отклонение уточненного решения от прогноза решения, а также его отклонение от соответствующих данных измерений. Поиск минимума осуществляется методом сопряженных множителей Лагранжа.

Главное отличие методов в том, что в 4Dvar уточнение получаемого решения производится с учетом отклонений решения от данных измерений и прогноза в нескольких точках по времени — окне усвоения, тогда как в 3Dvar учитываются отклонения только в одной точке по времени.

Для применения алгоритмов и их сравнения рассмотрена система Робертсона — классический пример жесткой задачи в химической кинетике [2].

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН (гранты I.33П и II.2П/I.3-3; проект МК-8214.2016.1) и РФФИ (грант № 14-01-00125).

Список литературы

- [1] ПЕНЕНКО В. В. Вариационные методы усвоения данных и обратные задачи для изучения атмосферы, океана и окружающей среды // Сиб. журн. выч. мат. — 2009. — Т. 12, № 4, С. 421–434.
- [2] ХАЙРЕР Э., ВАННЕР Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие и дифференциально-алгебраические задачи / М.: Мир, 1999. — 685 с.

1.22. Гусев О.И. Численное моделирование гипотетических оползневых цунами в Чёрном море

В последнее время появляются гипотезы об образовании некоторых цунами в Чёрном море не сейсмическими источниками, а подводными оползнями. Например, в [1] такое предположение делается о цунами на болгарском побережье в 2007 г. В связи с возможностью возникновения и более разрушительных оползневых цунами изучаются отложения на континентальных склонах моря. Задokumentирован сход гигантского оползня вблизи побережья РФ [2]. В первой части настоящей работы численно исследуется образование и распространение волн, порождённых гипотетическими оползнями, близкими по параметрам к [2]. Моделирование волнового

процесса проводится в рамках полной нелинейно-дисперсионной модели, при этом численный алгоритм строится на выделении [3] в исходной системе уравнений двух подзадач: равномерно эллиптического уравнения и гиперболической системы мелкой воды с модифицированной правой частью, которые решаются поочерёдно на каждом шаге конечно-разностной схемы типа предиктор-корректор. Демонстрируется сильное влияние начального положения оползня на амплитуду и картину распределения максимальных заплесков. Исследуется важность учёта частотной дисперсии волн.

Вторая часть посвящена исследованию гипотезы из статьи [1], в которой представлены результаты расчётов всего для 4 начальных положений оползня. При этом расчёты выполнялись с использованием бездисперсионной модели мелкой воды. Эти результаты неудовлетворительно согласуются с данными натурных наблюдений, поэтому вопрос о происхождении аномальных волн до сих пор остаётся открытым. В настоящем исследовании рассмотрено более 200 начальных положений, что позволило определить среди них те, при которых оползень генерировал волны близкие к наблюдениям.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-17-00219).

Список литературы

- [1] RANGUELOV B., TINTI S., PAGNONI G. ET AL. The nonseismic tsunami observed in the Bulgarian Black Sea on 7 May 2007: was it due to a submarine landslide? // *Geophys. Res. Lett.* — 2008. — Vol. 35, L18613.
- [2] КАЗАНЦЕВ Р. А., КРУГЛЯКОВ В. В. Гигантский оползень на дне Черного моря // *Природа*. — 1998. — № 10, С. 86–87.
- [3] ГУСЕВ О. И., ХАКИМЗЯНОВ Г. С. Численное моделирование распространения длинных поверхностных волн по вращающейся сфере в рамках полной нелинейно-дисперсионной модели // *Вычисл. технологии*. — 2015. — Т. 20, № 3, С. 3–31.

1.23. Дементьева Е. В., Каропова Е. Д., Киреев И. В. Неточный метод Узава — сопряжённых градиентов для задачи Стокса для вязкой несжимаемой жидкости

В настоящей работе рассматриваются двумерные уравнения Стокса для вязкой несжимаемой жидкости в канале. На выходной границе используется модифицированное граничное условие «do nothing».

Для построения дискретного аналога применяются конечные элементы Тэйлора — Худа. Компоненты скорости аппроксимируются биквадратичными элементами, давление — билинейными элементами. В результате мы получаем линейную систему алгебраических уравнений (СЛАУ), для которой выполняется условие Ладыженской — Бабушка — Брецци, что гарантирует устойчивость по давлению.

Полученная СЛАУ относится к задачам с седловой точкой. Для нахождения ее приближённого решения предложен модифицированный неточный метод

Узава — сопряжённых градиентов, широко применяемый в численном анализе седловых систем. Как правило, широко используемые численные методы рассматриваются относительно неизвестных переменных задачи скорость — давление. Предложенная модификация метода построена относительно отклонений этих переменных от искомой седловой точки конечномерной задачи. В случае линейных итерационных процессов такая замена в постановке задачи не влияет на результат вычислений. Однако эффективность вычислений значительно повышается при использовании нелинейного метода сопряжённых градиентов для вычисления оператора Шура и его образа. Число внутренних (связанных с вычислением образа оператора Шура) и внешних (относительно оператора Шура) итераций являются параметрами итерационного метода. Если эти параметры положить равными единице, то обсуждаемый процесс будет аналогичен градиентному спуску. При отсутствии же ошибок округления метод приводит к точному решению при числе внутренних и внешних итераций равном размерностям искомого компонента скорости и давления соответственно.

В предложенном итерационном алгоритме Узава — сопряжённых градиентов, как и в классическом методе Узава, на каждой итерации сперва вычисляется приближение для давления, а затем — для скорости. Такой подход позволяет удовлетворить уравнению неразрывности с хорошей точностью. В то же время, в отличие от большинства известных методов Узава предложенный метод не требует прямого обращения матрицы Шура для давления.

В работе проведены численные эксперименты на модельных задачах, подтверждающие сходимость и эффективность предложенного метода. В частном случае доказана теорема сходимости.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-01-00296).

1.24. Дикишина Е. А., Аввакумов И. Л. Метод высокотемпературного разложения в моделировании экситонного переноса в Sr_2IrO_4 с учетом хундовского взаимодействия

В данной работе исследуется Sr_2IrO_4 — недавно открытый моттовский диэлектрик, который в ранее проводимых исследованиях рассматривается без учета хундовского взаимодействия [1, 2].

В экспериментальных спектрах Sr_2IrO_4 наблюдается беззарядовая квазичастица — спин-орбитальный экситон. Распространение спин-орбитального экситона в системе без учета правила Хунда затухает из-за нарушения локального магнитного порядка. Тем не менее, в электронной структуре иона с переносом заряда вклад хундовского взаимодействия сравним со спин-орбитальным и не может быть опущен. Благодаря хундовскому взаимодействию появляется новый тип переноса, который делает возможным пе-

перенос экситона в Sr_2IrO_4 без нарушения магнитного порядка ионов окружения.

Эффективный гамильтониан, выведенный из гамильтониана Хаббарда для двухузельной системы, предполагает наряду с обычным переносом перенос экситона с изменением спинового состояния. Такой перенос возможен только с учетом хундовского взаимодействия. Он приводит к новому типу взаимодействий, при которых состояния магнитной системы не искажаются и перенос возбуждения становится выгодным.

Целью работы является рассмотрение совместного действия переносов обоих типов — с изменением спинового состояния ионов и без изменения — и изучение их вкладов в распространение спин-орбитального возбуждения в Sr_2IrO_4 .

Для исследования используется компьютерное моделирование, в основе которого лежит метод высокотемпературного разложения Stochastic Series Expansion [3], с изменениями, необходимыми для учета хундовского взаимодействия.

Список литературы

- [1] KIM B. J., JIN H., MOON S. J. Novel $J_{eff} = 1/2$ Mott State Induced by Relativistic Spin-Orbit Coupling in Sr_2IrO_4 // Phys. Rev. Lett. — 2008. — Vol. 101, N 7.
- [2] KIM J., DAGHOFFER A. H., SAID A. H. Excitonic Quasiparticles in a Spin-Orbit Mott Insulator // Nature Communications. — 2014. — Vol. 3, N 1.
- [3] SANDVIK A. W., KURKIJARVI J. Quantum Monte Carlo simulation method for spin systems // Phys. Rev. B. — 1991. — Vol. 43, P. 5950–5961.

1.25. Добролюбова Д.В., Михайлова Е.И. Математическое моделирование гармонических электромагнитных полей в областях с тонкими проводящими пластинами

Моделирование электромагнитных полей в областях с тонкими пластинами является распространенной инженерной задачей. В электротехнике тонкие проводящие и диэлектрические пластины широко применяются в качестве экранирующих и защитных слоев в устройствах; в науках о Земле возникает необходимость моделировать трещиноватые флюидонасыщенные среды, в материаловедении — среды с тонкими микровключениями. Геометрические особенности внутренней структуры расчетных областей с тонкими пластинами значительно усложняют конечноэлементную дискретизацию таких объектов и увеличивают вычислительные затраты. Большинство реализованных численных подходов предполагают редуцирование аналитической модели и замену трехмерной тонкой пластины поверхностью и строятся на основе метода конечных элементов (МКЭ): модификация узлового МКЭ для скалярных полей [1], модификация векторного МКЭ для электрического векторного потенциала \vec{T} и для векторного магнитного потенциала \vec{A} [2].

В данной работе предлагается модифицированная вариационная постановка векторного МКЭ для уравнения Гельмгольца в естественных переменных в частотной области, позволяющая учитывать тонкую сильно проводящую пластину как поверхностный ток, на уровне вариационной постановки. Для предложенной вариационной формулировки исследована область применимости: рабочий диапазон частот, возможные контрастности электрофизических характеристик под областей, влияние положения, толщины и формы пластины на точность аппроксимации. Сравнение выполняется с расчетами, произведенными ВМКЭ в стандартной формулировке в областях с объемными включениями.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-29-15094-офи_м).

Список литературы

- [1] GUERIN C., MAUNIER G. 3-D magnetic scalar potential finite element formulation for conducting shells coupled with an external circuit // IEEE Trans. Magnetics. — 2012. — Vol. 48, P. 823–826.
- [2] REN Z. Degenerated Whitney Prism Elements - General Nodal and Edge Shell Elements For Field Computation in Thin Structures // IEEE Trans. Magnetics. — 1998. — Vol. 34, P. 2547–2550.

1.26. Долгов А.А. Оценивание параметров стохастических линейных дискретных моделей на основе гибридного фильтра Калмана

Работа посвящена оцениванию неизвестных параметров стохастических линейных стационарных дискретных моделей вида:

$$x(t+1) = \Phi x(t) + \Psi u(t) + \Gamma w(t), \quad (1)$$

$$y(t+1) = Hx(t+1) + \nu(t+1), \quad (2)$$

$$t = 0, \overline{N-1},$$

с гауссовскими шумами системы и измерений и наличием выбросов в измерительных данных.

Предполагается, что подлежащие оцениванию неизвестные параметры входят в уравнения состояния, измерения, а также в ковариационную матрицу шума системы и начальные условия.

Оценивание неизвестных параметров математической модели (1), (2) осуществлялось по данным наблюдений в соответствии с методом максимального правдоподобия [1].

В работе получено аналитическое выражение для критерия идентификации и его градиента на основе адаптивного гибридного фильтра, учитывающего появление аномальных измерений.

В его основу заложено сочетание двух наиболее популярных подходов адаптивной фильтрации: метода уточнения ковариации по обновляющейся последовательности (IAE) и адаптивного алгоритма с плавной подстройкой (AFKF) [2].

Для указанных моделей разработаны и программно реализованы алгоритмы оценивания неизвестных параметров как на основе фильтра Калмана, так и его гибридной модификации. Проведен сравнительный анализ процедур оценивания. На примере модельных структур с различным характером вхождения неизвестных параметров показана эффективность разработанных алгоритмов.

Научный руководитель — к.т.н., доцент Черникова О. С.

Список литературы

- [1] YANG Y., CUI X., GAO W. Adaptive Integrated Navigation For Multi-Sensor Adjustment Outputs // The J. of Navigation. — 2004. — Vol. 57, P. 287-295.
- [2] JWO D., CHUNG F., WENG T. Adaptive Kalman Filter for Navigation Sensor Fusion // Sensor Fusion and its Appl. — 2010. — Vol. 16, P. 66-90.

1.27. Долгов Д. Математическое моделирование искусственного сердечного клапана

Работа посвящена исследованию задачи о течении крови в сосудах с гибкими стенками и сердечными клапанами. Искусственный сердечный клапан — чрезвычайно сложная система, к работе которой предъявляется множество требований, поэтому математическое моделирование существенно упрощает процесс его разработки и оптимизации структуры. В данной работе мы предлагаем математическую модель для описания трехмерной динамики течения крови как вязкой несжимаемой неоднородной жидкости в крупных кровеносных сосудах и искусственном сердечном клапане, а также численный метод решения данной задачи.

Математическая модель, предложенная для решения нестационарной задачи о течении внутри клапана, позволяет учитывать основные особенности его работы — неоднородную структуру крови, гибкость и сложную геометрию створок клапана. Кровь представлена в модели как вязкая несжимаемая жидкость и состоит из двух компонент (например, плазма и форменные элементы). Движение жидкости определяется с помощью нестационарной системы дифференциальных уравнений Навье-Стокса с переменными вязкостью и плотностью [1]. Створки клапана моделируются как гибкие непроницаемые поверхности, которые деформируются под давлением жидкости. Их деформация и взаимодействие с жидкостью определяется с помощью метода погруженной границы [2]. Влияние створок клапана на жидкость описывается с помощью массовых сил в уравнении движения жидкости.

Математическая модель и ее численная реализация были применены к задаче течения крови внутри аортального клапана для различных форм и распределения примеси с целью определения динамики описываемой биологической системы, включая расход жидкости, геометрию створок клапана, распределение напряжения по их поверхности.

Работа выполнена в рамках проектной части госзадания № 1.630.1.2014/К.

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

Список литературы

- [1] MILOSEVIC H., GAYDAROV N.A., ZAKHAROV Y.N. Model of incompressible viscous fluid flow driven by pressure difference in a given channel // Intern. J. Heat and Mass Transfer. — 2013. — Vol. 62, P. 267-274
- [2] BOYCE E. G. Immersed boundary model of aortic heart valve dynamics with physiological driving and loading conditions // Intern. J. Num. Meth. in Biomed. Eng. — 2011. — Vol. 29, N 5, P. 317-345.

1.28. Дудаев А.Р., Глинских В.Н. Гетерогенные CPU-GPU вычисления в задаче электрокаротаж нефтяных скважин

Создание новых геофизических технологий изучения нефтяных скважин приводит к необходимости разработки высокопроизводительных программно-алгоритмических средств, составляющих основу оперативной интерпретации каротажных данных. В последнее время все чаще обращаются к параллельным вычислениям на графических процессорах (GPU) и компактных многопроцессорных устройствах, что делает возможным проводить вычисления непосредственно на скважине и обрабатывать данные в реальном времени [1, 2]. Одним из направлений дальнейшего развития является применение гетерогенных CPU-GPU вычислений для решения ресурсоемких геофизических задач. Эффективная загрузка вычислительных узлов в гетерогенном кластере позволяет организовывать сложные вычисления и существенно сокращать время расчетов.

Работа посвящена двумерному численному моделированию данных электрического каротажа в скважинах на основе высокопроизводительных гетерогенных CPU-GPU вычислений. С использованием метода конечных элементов численное решение прямой двумерной задачи сводится к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с сильно разреженной матрицей большой размерности, для решения которой применяется метод разложения Холецкого. Применяя этот метод, разложение матрицы СЛАУ на произведение двух треугольных матриц можно выполнять один раз, а затем использовать это разложение для нахождения нескольких решений СЛАУ. Это позволяет выполнять моделирование данных сразу в нескольких точках вдоль профиля скважины.

Выполнены программные реализации алгоритма с использованием технологии NVIDIA CUDA и вычислительных библиотек для разреженных матриц. В рассмотренных библиотеках разложение и решение СЛАУ разделены, что позволило организовать эффективные вычисления и выполнить всесторонний сравнительный анализ. Проведено исследова-

ние быстродействия разложения, решения СЛАУ и алгоритма в целом. Оценки времени CPU-GPU вычислений выполнены с использованием Intel Core i7-3820 и NVIDIA GeForce Titan. Показано, что гетерогенные CPU-GPU вычисления позволили сократить время расчетов до 2 и до 8 раз по сравнению с вычислениями на CPU и GPU соответственно. Полученные результаты указывают на высокую эффективность алгоритма и возможности его применения для решения практических задач электрокаротажа нефтегазовых скважин.

Список литературы

- [1] Глинских В. Н., Эпов М. И., Лабутин И. Б. Моделирование диаграмм электромагнитного каротажа на графических процессорах // Вычисл. технологии. — 2008. — Т. 13, № 6, С. 50–60.
- [2] Дудаев А. Р., Нечаев О. В., Глинских В. Н. High-performance computing on GPU for 2D electric logging problem based on the finite element methods // Proc. 8th Intern. Siberian Early Career GeoScientists Conf. — Novosibirsk, 2016. — P. 390–391.

1.29. Евстигнеев Н. Численное исследование бифуркаций в некоторых задачах ламинарно-турбулентного перехода

В докладе рассматриваются некоторые начально-краевые задачи для нестационарных двух и трехмерных уравнений Навье — Стокса, для которых проводятся численные решения при различных значениях параметров, отвечающих за переход от ламинарного режима течения к турбулентному (числа Рейнольдса, Ричардсона, Рэлея и т.д.). Для анализа используются различные методы: конечно-разностные методы, методы конечного объема, конечно-элементные и спектральные методы, проводится сопоставление результатов между различными методами. Выбор степеней свободы методов выполнен с учетом размерности аттрактора в уравнениях Навье — Стокса. В результате решений задач строятся фазовые портреты решений и проводится качественный анализ на основе фазовых траекторий, сечений Пуанкаре, теории линейной устойчивости. Все методы реализованы с применением MultiGPU подхода с ориентацией на кластер с 5-7 GPU с монопольным доступом.

Рассматриваются следующие задачи: течение А.Н. Колмогорова в двухмерной и трехмерной областях; конвекция Рэлея — Бенара в приближении Буссинеска — Обербека в трехмерных областях; течение с уступа в трехмерной области; неустойчивость Кельвина — Гельмгольца в квазидвумерной постановке и в трехмерной постановке. Также рассмотрены особенности фазового портрета решения задачи для газа при сверхзвуковом течении в задаче обтекания затупленного тела. Во всех задачах обнаружены области множественной устойчивости, бифуркации вилки, а также найдены последовательности Фейгенбаума, Шарковского

и сценарий Ландау вплоть до тора размерности три. Во всех задачах отмечается существование локально-гиперболических аттракторов по типу схожих с аттракторами типа «подковы Смейла».

1.30. Ефимова А.А., Берендеев Е.А. Численное моделирование электростатической ударной волны

Электростатические ударные волны формируются в космической плазме, а также в лабораторных экспериментах, в том числе в последних экспериментах по ускорению частиц при взаимодействии лазерного импульса с плазмой (напр., [1]). В работе было проведено моделирование ионно-акустических бесстолкновительных ударных волн в одномерной постановке для следующих задач: а) формирование ударной волны в результате распада разрыва плотности и б) распад локализованного возмущения плотности. Наиболее полное описание возможно с помощью кинетической модели, т.е. на основе кинетического уравнения Власова для электронов и ионов и уравнения Пуассона. Проведено сравнение результатов, полученных с помощью кинетической модели и двух гибридных моделей.

В рассматриваемых гибридных моделях движение ионов описывается кинетическим уравнением, а движение электронов в первом случае — уравнением Больцмана, а во втором — адиабатической функцией [2]. Адиабатическая постановка является новой и для рассматриваемых задач используется впервые. Для решения поставленных задач используется метод частиц-в-ячейках. Эффективность отражения, распределение скоростей отраженных частиц и структура ударной электростатической волны рассмотрена при различных параметрах ударной волны. Решение расширяет классическое солитонное решение за пределами критического числа Маха $M^* = 1.6$, где солитон прекращает свое существование из-за потока отраженных ионов. Исследовано влияние числа частиц в ячейке на решение, найдены оптимальные расчетные параметры.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-31-00304).

Список литературы

- [1] MACCHI A., NINDRAYOG A. S., PEGORARO F. Solitary versus shock wave acceleration in laser-plasma interaction // Phys. Rev. E. — 2012. — Vol. 85, P. 046402.
- [2] MALKOV M. A., SAGDEEV R. Z., DUDNIKOVA, G. I., ET AL. Ion-acoustic shocks with self-regulated ion reflection and acceleration // Phys. of Plasmas. — 2016. — Vol. 23, is. 4, P. 043105.

1.31. Железнова А.А. Применение DG-метода для решения уравнения конвекции — диффузии — реакции

Целью данной работы является реализация вычислительной схемы на базе разрывного метода Галёр-

кина (DG FEM) [1] и разработка программного комплекса для решения уравнения конвекции — диффузии — реакции, которое имеет следующий вид:

$$-\operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} u) + \mathbf{a} \cdot \operatorname{grad} u + cu = f.$$

DG FEM использует идеи двух методов: метода конечных элементов и метода конечных объёмов. Ввиду неконформности метода имеется возможность естественным образом использовать при решении задачи несогласованные сетки, разрывные базисные функции и на разных конечных элементах выбирать базисы различного порядка. Связь конечных элементов друг с другом обеспечивается входящими в вариационную постановку численными потоками, способ вычисления которых определяет конечный вид вариационной постановки. Была использована вариационная постановка Baumann — Oden [2] на биквадратичном разрывном базисе.

В рамках данной работы разработанный программный комплекс был верифицирован на классе модельных задач, исследовано влияние сеточного числа Пекле на устойчивость вычислительной схемы, проанализирована проблема использования дополнительных лифтинг-операторов, которые обеспечивают устойчивость вычислительной схемы.

Научный руководитель — к.т.н. Иткина Н. Б.

Список литературы

- [1] COCKBURN B., KARNIADAKIS G. E., SHU C.-W. *Discontinuous Galerkin Methods: Theory, Computation and Applications* / Berlin: Springer-Verlag, 2000. — 470 p.
- [2] ARNOLD D. N., BREZZI F., COCKBURN B., MARINI L. D. *Unified Analysis of Discontinuous Galerkin Methods for Elliptic Problems* // SIAM J. Num. Anal. — 2002. — Vol. 39, N 5, P. 1749–1779.

1.32. Заплетина М. А., Матюшкин И. В. Применение клеточных автоматов для описания прохождения электрического тока в межсоединениях сверхбольших интегральных схем

Повышение степени интеграции интегральных схем (СБИС) делает необходимым поиск новых методов приборно-технологического проектирования. Представляется перспективным использовать аппарат клеточных автоматов (КА) [1] для описания физического (а чаще — электротеплового) взаимодействия между соседними микро- или нанообъемами вещества. Для реализации этой идеи важно решить в КА-формализме некоторые простые задачи, одной из которых является прохождение электрического тока в вольфрамовых перемычках, соединяющих два уровня металлизации СБИС [2]. Вольфрамовая перемычка моделируется формой усеченного конуса в цилиндрических координатах (на торцы накладываются граничные условия, связанные с потенциалом поля). Цель работы, однако, состоит не в

получении банального результата, а в тестировании методики КА-моделирования.

Весь моделируемый объем разбивался на гексагональные шайбы (ось z -симметрии шайбы направлена вдоль оси симметрии перемычки). Состояние ячейки описывается одним флагом, отвечающим двум фазам — «металл» и «диэлектрик» и тремя непрерывными (тип *double*), описывающими потенциал поля ϕ , концентрацию избыточных свободных электронов n (для диэлектрика этот компонент не учитывается) и температуру T (со сдвигом на константу, равную начальной температуре среды). Металл характеризуется константами: энергией Ферми, связанной степенной зависимостью с общей концентрацией электронов, и удельной проводимостью σ , участвующей в записи закона Ома $\mathbf{j} = \sigma \cdot \operatorname{grad} \phi$. Электрический сигнал задается меандром, переключение граничных условий происходит мгновенно. Теплообмен со средой межуровневого диэлектрика пропорционален температуре граничных ячеек.

Несмотря на простоту задачи, необходимо принимать во внимание разновременные процессы: распространения электромагнитного поля (со скоростью света) — быстрый; перестройки электронной плотности, зависящий от подвижности электронов — умеренно быстрый; теплопередачи — медленный. Для учета этого нами использовался метод КА с альтернативой [3], т.е. локальная функция перехода реализуется одним вариантом из нескольких при выполнении некоторого условия. Это условие завязано на состояние глобальной переменной — флага с 4 состояниями (0, 1, 2, 3); назовем эту переменную «суперячейкой», т.к. её состояние изменяется после каждого глобального хода КА и определяется глобальной динамикой (например, если изменение распределения потенциала во времени, оцененное по полю КА по квадратичной норме, невелико, то суперячейка меняет состояние с 1 на 2). Таким образом, (впервые) предлагаемый КА с суперячейкой позволяет использовать разномасштабные кванты времени в пределах одного КА. Кроме того, такой способ позволяет частично снять ограничения локальности, присущие КА.

Список литературы

- [1] STEPANKOVSKY A. L., GAVRILOV S. V., MATYUSHKIN I. V. ET AL. *On the issue of application of cellular automata and neural networks methods in VLSI design* // Opt. Mem. Neural Networks. — 2016. — Vol. 25, C. 72-78.
- [2] Красников Г. Я. *Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов* / М.: Техносфера, 2004. — В 2 ч. — С. 510, С. 536.
- [3] BUCHNOLZ T., KLEIN A., KUTRIV M. *Real-Time Language Recognition by Alternating Cellular Automata* // Proc. Intern. Conf. IFIP. — Springer-Verlag, 2000. — P. 213–225.

1.33. *Зимин А. Моделирование волны, возникающей вследствие обвала подводного оползня*

Волны цунами, порожденные обвалами подводных и надводных оползней, могут представлять опасность для береговых сооружений и заселенных территорий. В естественных условиях подводный оползень представляет собой движение некоторой массы грунта вдоль склона дна. Большие объёмы движущейся массы вызывают на поверхности воды волны, близкие по своим характеристикам волнам, возникающим от цунамигенного землетрясения.

Моделирование волны цунами, возникающей вследствие движения оползня условно можно поделить на две задачи: моделирование распространения волн на свободной поверхности и моделирование движения оползня по дну водного бассейна.

В работе [1] мы рассматривали процесс размыва связного грунта как движение двухкомпонентной вязкой несжимаемой жидкости. Подобный подход был использован для моделирования процесса распространения поверхностной волны в [2].

Целью данной работы является применение модели трехкомпонентной вязкой несжимаемой жидкости с переменными вязкостью и плотностью и с наличием диффузии массы между компонентами для задач возникновения поверхностных волн в результате движения оползня.

Представлены результаты тестовых расчетов двухмерных и трехмерных задач о генерации волн и заплеска их на берег. Проведены сравнения с результатами, полученными в [3].

Работа выполнена в рамках государственного задания министерства науки и образования (проект № 1.630.2014/K).

Список литературы

- [1] ZAKHAROV Y., ZIMIN A., NUDNER I., RAGULIN V. Two-Component Incompressible Fluid Model for Simulating the Cohesive Soil Erosion // Appl. Mech. and Mat. — 2015. — Vol. 725–726, P. 361–368.
- [2] ZAKHAROV Y., ZIMIN A., RAGULIN V. Two-Component Incompressible Fluid Model for Simulating Surface Wave Propagation // Math. Modeling of Tech. Proc. — 2015. — Vol. 549, P. 201–210.
- [3] SMITH R., HILL J., COLLINS G. ET AL. Comparing approaches for numerical modelling of tsunami generation by deformable submarine slides // Ocean Modelling. — 2016. — Vol. 100, P. 125–140.

1.34. *Исаев И.Л., Ершов А.Е., Филимонов С.А., Гаврилюк А.П. Расширение ультрахолодной ЭИ плазмы в однородном магнитном поле*

В последние десятилетия ультрахолодная сильно-неидеальная электрон-ионная плазма (УП) представляет значительный интерес в качестве объекта исследования. Существует ряд экспериментальных работ по УП, которые не позволяют достаточно

объемно описать поведение такой плазмы в различных условиях. Значительное продвижение в этом направлении возможно на основе численного моделирования. Прямое моделирование УП затруднено значительным превышением скоростей электронов над скоростями ионов (из-за большого различия масс и температур), которое может достигать 10^5 раз. При отсутствии магнитного поля или когда оно относительно невелико ($B < 0.01$ Тл) вполне применимо приближение однородного электронного фона, при котором электроны рассматриваются как нейтрализующий ионы фон. В этом случае, можно использовать метод броуновской динамики для моделирования движения только ионов.

При моделировании УП как дискретной системы возникли трудности с численным разогревом электронов при сравнительно большом магнитном поле ($B \geq 0.01$ Тл). В этом случае электроны вращаются с достаточно большой скоростью и с малым ларморовским радиусом, не превышающем среднего межчастичного расстояния. Многократно проверенное средство — уменьшение временного шага в данном случае почти не помогает. Были использованы различные схемы решения дифференциальных уравнений, как многошаговых так и одношаговых, все они показали неудовлетворительные результаты. В конце концов остановились на методе Рунге — Кутты — Фельберга 4 порядка, только он позволил адекватно описать движение частиц в результате численных расчетов. Свой вклад в сложность расчётов вносит то, что УП относится к сильно взаимодействующим кулоновским системам, что приводит к необходимости учета взаимодействия каждой частицы со всеми остальными.

С учетом всего вышеперечисленного были проведены расчеты методом молекулярной динамики. Обнаружилось, что в сравнительно большом магнитном поле, при котором ларморовский радиус меньше среднего межчастичного расстояния, ион совместно с электроном может образовать что-то вроде нейтрального атома и покинуть плазму гораздо быстрее, чем изолированные ионы или электроны, находящиеся под действием этого же магнитного поля. В такой паре каждая из частиц дрейфует в скрещенных внешним магнитном поле и электрическом поле соседней частицы. Образование в УП таких устойчивых нейтральных пар, беспрепятственно пересекающих магнитное поле является существенным фактором, ускоряющим разлет плазмы. *Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-32-00382-мол_а).*

1.35. *Ицкович М.А. О налогообложении капитала в дискретных аналогах модели Рамсея — Солоу*

В работе рассматривается модель иерархической системы, состоящей из государства и нескольких компаний (инвесторов). Цель работы — определить

условия существования рациональных стратегий поведения всех участников исследуемой социально-экономической системы. Предполагается, что государство задает налоговую схему и налоговую ставку. Инвесторы, зная стратегию государства и предполагая, что она фиксирована, максимизируют свои функции полезности. В качестве функции полезности инвесторов рассматривается общее потребление с дисконтированием. Государство выберет ту стратегию, при которой оно собирает большее количество налогов в течение рассматриваемого периода $[0, T]$. Анализ основан на модифицированной модели Рамсея. В классической модели Рамсея [1] доход компании распределяется между потреблением и инвестициями. Однако эта модель не учитывает существование налогообложения и таким образом описывает функционирование системы «Государство — инвесторы» не адекватно.

В результате построены дискретные модели, описывающие функционирование такой системы с распределением доходов от производства между потреблением, инвестициями и налогами на имущество. Найдены условия квазивогнутости целевых функций задач нижнего и верхнего уровней с постоянной по времени долей дохода, идущей на потребление, и плоской шкалой налогообложения. Доказаны соответствующие теоремы. Предложены эвристические алгоритмы для нахождения точек максимума целевых функций задач верхнего и нижнего уровней, когда ничего нельзя сказать об их квазивогнутости.

Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ (грант № 16-02-00070) и РФФИ (гранты № 16-01-00108, 16-06-00101).

Список литературы

- [1] АШМАНОВ С. А. Введение в математическую экономику / М.: Наука, 1984.

1.36. Калганов Д.А., Бутько Л.Н., Калганова Т.А. Модель ГТЕМ камеры для проведения испытаний на ПЭМИН

Вопросы сопровождения и практического проведения аттестации объектов информатизации по требованиям безопасности информации занимают важное место в вопросах обеспечения государственной и коммерческой тайны. Для технической реализации проведения аттестации необходимо наличие сложного программного обеспечения и оборудования включающего анализаторы спектра, антенно-фидерные устройства, измерительные камеры и др. Несмотря на обилие соответствующих предложений на рынке, одним из наиболее сложных вопросов остаётся приобретение, проверка на соответствие предъявляемым критериям качества и грамотное применение дорогостоящих современных технических средств [1].

В ходе работы по изготовлению программно-аппаратного комплекса, предназначенного для проведения специальных исследований технических

средств обработки информации от утечки за счет побочных электромагнитных излучений, была создана численная модель ГТЕМ измерительной ячейки. Область моделирования представляла собой многогранник, образованный четырехугольной пирамидой и сечением, проходящим через её высоту. Плоскость сечения при этом представляла собой зеркальную плоскость симметрии половины моделируемой ГТЕМ ячейки, что способствовало снижению расчетной сложности и повышению наглядности. Методом конечных элементов с учетом граничных условий, соответствующих геометрии ячейки и поперечному типу электромагнитных волн, было получено детальное распределение электрической и магнитной составляющих поля и рассчитаны размеры рабочей области. Основное уравнение, используемое в расчётах, было получено из системы уравнений Максвелла и имело следующий вид:

$$\operatorname{rot} \left(\mu^{-1} \operatorname{rot} \left(\vec{E} \right) \right) - k_0^2 \left(\varepsilon - \frac{i\sigma}{\omega\varepsilon_0} \right) \vec{E} = 0.$$

Разбиение области модели проводилось с учётом неоднородности поля. Область моделирования была расширена на четверть длины волны от всех излучающих поверхностей, а шаг сетки не превышал шестой части длины волны [2]. Также была исследована возможность использования метаматериалов для изготовления стенок ГТЕМ-ячейки и центрального проводника.

С использованием полученных в ходе работы данных был изготовлен рабочий прототип ГТЕМ измерительной камеры с рабочей областью $60 \times 200 \times 200$ мм, используемый совместно с анализатором спектра Aeroflex 2399C и программно-аппаратным комплексом «СИГУРД» для исследования технических средств и объектов информатизации на побочные электромагнитные излучения и наводки.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «УМНИК» (договор № 0018610).

Список литературы

- [1] КОНДРАТЬЕВ А.В., НАГОРНЫЙ С.И., ДОНЦОВ В.В., ЛОБАШЕВ А.К. Особенности выбора средства измерения для автоматизированных программно-аппаратных комплексов исследования ПЭМИН // Специальная Техника. — 2007. — № 2, С. 46–52.
- [2] МІКНЕЕВ О. V., PODOSEN OV S. A., SAKHAROV K. Y., TURKIN V. A. Approximate Calculation Methods for Pulse Radiation of a TEM-Horn Array // IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility. — 2001. — Vol. 43, P. 186–192.

1.37. Кардашин А.С. Электронные и магнитные свойства примеси железа на подложках Pt(111), Pd(111), W(110)

Одним из мощнейших инструментов для изучения проводящих поверхностей является сканирующий туннельный микроскоп (СТМ), при помощи которого можно изображать поверхности на атомарном уровне, манипулировать отдельными атомами, а также получать спектры проводимости одиночных адсорбированных атомов [1]. В работе [2] показано, что проводимость является функцией локальной плотности электронных состояний образца. Отсюда следует, что для понимания результатов экспериментов с СТМ необходимо иметь информацию о плотности состояний исследуемого образца.

Целью данной работы являлась попытка теоретического объяснения спектров, полученных из экспериментов с СТМ для отдельных атомов на различных подложках. Кроме того, проводилось сравнение выявленных в ходе расчётов свойств изучаемых систем с имеющимися результатами из предыдущих работ. В данной работе были изучены электронные и магнитные свойства систем, представляющих собой атом железа, адсорбированный на металлическую подложку из трёх слоёв платины (111), палладия (111) и вольфрама (110). С помощью программных средств были построены модели изучаемых систем, а также проведена их оптимизация путём релаксации методами молекулярной динамики, реализованными в используемом вычислительном пакете. Был проиллюстрирован процесс движения атомов к равновесным положениям.

Электронные свойства изучались посредством вычисления плотностей состояний адатома (адсорбированного атома) на всех трёх подложках методом LDA (Local Density Approximation). Выяснилось, что расчёты в пределах LDA не способны объяснить положение главного пика состояний железа в спектрах СТМ для систем Fe/Pt(111) и Fe/Pd(111). Для адатома во всех изучаемых системах наблюдается пик плотности состояний на уровне 0.5 эВ, который является характерным для железа [1].

Магнитные свойства изучались путём вычисления плотностей состояний с учётом спиновой поляризации (Local Spin-Density Approximation, или LSDA). Установлено, что положение главного пика состояний железа на платиновой и палладиевой подложках в спектрах СТМ в рамках LSDA объясняется спиновым расщеплением. Также были вычислены магнитные моменты адатома и атомов подложки в изучаемых системах. Установлено, что палладиевая подложка намагничивается адатомом намного сильнее, чем подложка из платины и вольфрама.

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

Список литературы

- [1] BODE M., PASCAL R., WIESENDANGER R. Imaging and tunneling spectroscopy of individual iron

adsorbates at room temperature // Z. Phys. B. — 1995. — Vol. 10, P. 143.

- [2] TERSOFF J., HAMANN D.R. Theory of the scanning tunneling microscope // Phys. Rev. B. — 1985. — Vol. 31, N 2, P. 805.

1.38. Карелин В.А. Математическое моделирование и поиск аналитических решений процесса СВЧ-нагрева плоского угольного массива

Одним из традиционных механизмов нагрева материала в процессах тепловой обработки является передача тепла внутри изделия за счет теплопроводности. Однако, этот способ имеет ряд недостатков, таких как неравномерный прогрев, высокая инерционность, перегрев внешних слоев и др. В то же время существует принципиально другой и весьма эффективный механизм нагрева воздействием микроволнового излучения [1]. Этот способ применим прежде всего для диэлектрических материалов, к которым относится и уголь. Данный метод нагрева создает внутренние источники тепла, которые зависят от частоты колебаний, квадрата напряженности электрического поля и диэлектрической проницаемости компонентов материала. Таким образом, можно селективно воздействовать на отдельные компоненты материала, к примеру, испарять воду из угля (сушка материала).

Для проектирования СВЧ-установок, нахождения оптимальных режимов нагрева и сопутствующих параметров наиболее продуктивен теоретический подход. Прежде всего, востребованными являются строгие аналитические решения задач СВЧ-нагрева [2]. Благодаря им легко осуществляется параметрический анализ микроволнового нагрева, проводятся экспресс-расчеты тепловых процессов, выявляются фундаментальные закономерности. Цель данного исследования связана с поиском таких решений.

В работе построены строгие аналитические решения ряда задач микроволнового нагрева угольного слоя с часто встречающимися на практике смешанными и достаточно произвольными граничными условиями. Получение данных решений упрощается при принятии постоянства электрофизических и теплофизических характеристик угля, что дает возможность разделить связанную задачу СВЧ-нагрева на две независимые: задачу электродинамики и задачу теплопроводности. Внутренний источник тепла от поглощения электромагнитной волны тогда следует закону Бугера.

Список литературы

- [1] Саломатов В. В., Пащенко С. Э., Сладков С. О. СВЧ-технологии в угольной энергетике // Инж.-физ. журн. — 2012. — Т. 85, № 3, С. 535–549.
[2] КАРТАШОВ Э. М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел / М.: Высшая школа, 2001. — 552 с.

1.39. Карякин И.Ю., Цыганова М.С., Ивашко А.Г.
Программный комплекс прогнозирования структуры стали после термической обработки

Режим термической обработки стали определяет механические свойства готовых изделий. На практике, выбор режима термообработки выполняется исходя из набора требуемых свойств производимых изделий, обусловленного их назначением. Выбор того или иного режима осуществляется с помощью экспериментально построенных изотермических и термокинетических диаграмм распада аустенита. Однако использование этих диаграмм в случаях, когда режим термической обработки существенно отличается от режимов в экспериментах, некорректно. В то же время, экспериментальное получение данных для построения диаграмм распада — крайне сложный и трудоемкий процесс. В связи с этим, разработано множество математических моделей, позволяющих прогнозировать кинетику фазовых превращений при охлаждении стали [1, 2]. Анализ публикаций показывает, что аналитические модели, построенные на основе уравнений Колмогорова и Аврами, позволяют хорошо прогнозировать кинетику фазовых превращений только в изотермических условиях [1]. Для моделирования распада аустенита при непрерывном охлаждении более перспективным представляется метод имитационного моделирования [2].

В данной работе была поставлена задача разработать комплекс моделей, позволяющих прогнозировать кинетику распада аустенита при непрерывном охлаждении стали и структуру стали после термической обработки, а также реализовать полученные модели в виде программного комплекса.

В работе предлагаются имитационная модель процесса распада аустенита, алгоритм определения кинетических параметров модели на основе данных изотермических диаграмм, алгоритм прогнозирования кинетики превращения при непрерывном охлаждении, методика прогнозирования структуры стали после термической обработки и определения прокаливаемости стали.

Разработанные модели и алгоритмы реализованы в виде программного комплекса прогнозирования структуры стали. Программный комплекс имеет трехуровневую архитектуру и включает ряд модулей: модуль имитации процесса фазовых превращений, модуль 3D-визуализации, модуль расчета кинетических параметров, модуль прогнозирования структуры стали и др. Поскольку выполнение расчетов по определению значений кинетических параметров требует серьезных аппаратных и временных ресурсов, архитектура комплекса включает GRID-систему [3], реализующую схему распределенных вычислений на основе сервера IBM BladeCenter.

Список литературы

- [1] KISINO T. Phase Transformations, Thermal Conductions and Elasto-Plastic Stress in Hardening of Steel // Materials. — 1979. — Vol. 28, N 312, P. 861–867.
- [2] Гуревич Ю.Г., Цыганова М.С. Построение изотермических и термокинетических диаграмм порошковых сталей различной пористости расчетным путем // Изв. высших учебных заведений. Черная металлургия. — 2006. — № 1, С. 47–50.
- [3] FOSTER I., KESSELMAN C., TUECKE S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations // Int. J. High-Perf. Comp. Appl. — 2001. — Vol. 15, N 3, P. 220–222.

1.40. Кензин М.Ю. Эволюционный подход к задаче продолжительного патрулирования области группой роботов

В докладе рассматривается подход к решению задачи организации патрулирования области группой роботов как вариации задачи динамической маршрутизации транспорта (ЗМТ) с временными окнами. Рассматриваемая задача патрулирования области заключается в управлении группой автономных роботов таким образом, чтобы гарантировать требуемую частоту регулярного полного покрытия области на длительных промежутках времени. Под управлением здесь понимается поиск и выбор таких групповых маршрутов, движение по которым обеспечивало бы своевременное освещение всей патрулируемой площади.

Решение ЗМТ и ее вариаций подразумевает графовую модель задачи. В этом случае чаще всего используется упрощенная постановка, описываемая следующим набором утверждений: 1) патрулируемая область может быть представлена в виде ненаправленного графа; 2) структура графа фиксирована; 3) задача патрулирования заключается в непрерывном посещении всех вершин графа с целью минимизации временного промежутка между двумя последовательными посещениями каждой вершины. Рассматриваемая в докладе задача является естественным развитием приведенной выше постановки: так, мы допускаем динамику условий реальной среды, гетерогенность рабочей группы роботов, а также различный приоритет регионов патрулируемой области. Координация группы в этом случае обеспечивается путем обмена данными между роботами через канал связи ограниченного радиуса. Следовательно, групповые маршруты должны выбираться таким образом, чтобы обеспечить возможность проведения регулярных сеансов связи.

В докладе приводятся алгоритмическая схема построения покрывающего графа для двухмерной области произвольной формы, постановка задачи динамического группового патрулирования и эволюционный подход к ее решению. Предлагается использовать ряд оригинальных эвристик для создания начальной популяции, многорежимные генети-

ческие операторы скрещивания и мутации, дополнительную процедуру локального поиска, а также механизм внутренней адаптации вероятностных параметров алгоритма. Разработанный подход позволяет эффективно генерировать требуемые групповые траектории при действующих пространственно-временных ограничениях даже на больших размерностях, а также осуществлять их оперативное перепланирование в случае непредвиденных изменений. Осуществлена программная реализация предложенного подхода, проведены тестовые расчеты.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 16-29-04238-офи_м, 14-07-00740-а).

1.41. Климов А.В., Куликов Д.В., Рахманов В.В., Главный В.Г. Исследование определения размеров частиц гидродинамического потока методами лазерной доплеровской анемометрии

Работа посвящена исследованию проблемы определения размеров частиц гидродинамического потока методами лазерной доплеровской анемометрии [1]. Отклик g частицы гидродинамического потока, имеющей длину R , пролетающей измерительный объем ширины L , в простейшем одномерном случае можно представить как свертку аппаратной функции K_L измерительного объема и функции индивидуальной частицы f_R :

$$g(t) = \int_0^t K_L(t - \tau) f_R(\tau) d\tau,$$

где K_L предполагается функцией Гаусса ширины L ввиду гауссового распределения лазерного пучка; функция частицы f_R неизвестна; $T = L + R$ — ширина функции отклика $g(t)$. Требуется по отсчетам $g(t_1), \dots, g(t_N)$ функции отклика восстановить линейный размер частицы R .

В работе рассмотрены три варианта решения данной задачи:

- решение обратной задачи интегрального уравнения Фредгольма первого рода с восстановлением параметра подынтегральной функции при известной функции ядра и наблюдаемой функции отклика;
- решение обратной параметрической задачи восстановления ширины функции отклика по ее отсчетам;
- решение прямой задачи грубой оценкой ширины отклика его наблюдаемой длиной.

Проведено численное моделирование при исследовании решения обратной задачи интегрального уравнения Фредгольма для разных функций индивидуальной частицы гидродинамического потока. Проведено численное моделирование при исследовании решения обратной задачи восстановления

ширины функции отклика в предположении, что отклик аппроксимируется функцией Гаусса с аддитивными нормальным шумом. В физических экспериментах проведено измерение размеров частиц гидродинамического потока, построено их распределение и показана зависимость характеристики распределений от свойств потока и ряда метрологических особенностей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-08-00186).

Список литературы

- [1] MELEDIN V.G. Optoelectronic Measurements in Science and Innovative Industrial Technologies // Optoelectronic Devices and Properties, InTech. — 2011.

1.42. Козлова С.В. Численное моделирование стационарного разделения тройной смеси в цилиндрической термодиффузионной колонне

Термодиффузия — это явление переноса массы компонентов смеси под действием градиента температуры, который играет важную роль в ряде природных и технологических процессов [1]. Для описания этого явления необходимо знать коэффициенты переноса (диффузии и термодиффузии). Одним из экспериментальных методов их измерения является термодиффузионная колонна — вертикальный слой между твердыми стенками, поддерживаемыми при различных температурах [2].

В данной работе выполнено численное моделирование стационарного разделения тройной смеси додекан — изобутилбензол — тетралин в замкнутой цилиндрической термодиффузионной колонне (вертикальный слой между коаксиальными цилиндрами с радиусами r_1 и r_2 , $r_2 > r_1$ и высотой $2H$). Такой тип смеси является распространенным в углеводородных месторождениях. Средняя массовая концентрация компонентов смеси $C_{i0} = 1/3$, $i = 1, 2, 3$, тетралин принят за растворитель. Смесь движется в вертикальном направлении замкнутой колонны, движение в радиальном и азимутальном направлениях отсутствует. Исследование выполнено для колонн с отношениями радиусов цилиндров 0.1, 0.5, 0.9, зазор между стенками одинаков и равен 1.5 мм, полная высота колонны равна 300 мм. Физические свойства смеси были взяты из работ [3, 4], Nist Chemical Webbook, а также вычислены на основе данных для чистых компонентов. Внутренний цилиндр нагрет до 27°C , внешний имеет температуру 23°C , так что разность температур между стенками $\Delta T = 4^\circ\text{C}$. Результаты численного моделирования находятся в хорошем согласии с точным решением задачи о стационарном разделении многокомпонентной смеси в цилиндрической колонне.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-31-00331).

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

Список литературы

- [1] FIROOZABADI A. Thermodynamics of hydrocarbon reservoirs / McGraw-Hill Professional, 1999.
- [2] RYZHKOV I. I. On thermal diffusion and convection in multicomponent mixtures with application to the thermogravitational column // Phys. of Fluids. — 2007. — Vol. 19, 027101.
- [3] BOU-ALI M. M., AHADI A., ALONSO DE MEZQUIA D. ET AL. // The Eur. Phys. J. E. — 2005. — Vol. 38: 30.
- [4] KHLUBOV O. A., RYZHKOV I. I., LYUBIMOVA T. P. // The Eur. Phys. J. E. — 2015. — Vol. 38: 29.

1.43. Коротченко М.А., Бурмистров А.В. Оценка по столкновениям метода Монте-Карло для параметрического анализа решения кинетического уравнения Смолуховского с линейными коэффициентами

В данном докладе мы рассмотрим нелинейное кинетическое уравнение Смолуховского, которое часто возникает при описании процессов коагуляции в различных физических системах. В работе изучается уравнение с линейными коэффициентами коагуляции, зависящими от двух параметров [1]. Для численной оценки линейных функционалов от решения этого уравнения моделируется эволюция многочастичной системы с помощью соответствующих цепей Маркова.

Разработаны новые алгоритмы метода Монте-Карло для численной оценки решения рассматриваемого уравнения. При этом используется весовое моделирование, которое применяется для параметрического анализа полученных оценок. Построенные оценки «по столкновениям» могут быть использованы для рандомизированного ветвления траекторий модельного ансамбля коагулирующих частиц. *Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 14-01-00340, 16-01-00530).*

Список литературы

- [1] БУРМИСТРОВ А.В., КОРОТЧЕНКО М.А. Весовые алгоритмы метода Монте-Карло для оценки и параметрического анализа решения кинетического уравнения коагуляции // Сиб. журн. выч. мат. — 2014. — Т. 17, № 2, С. 125–138.

1.44. Костелей Я.В., Чехоцкая Е.В., Жданов Д.С. Алгоритмы расчета параметров сердечно-сосудистой системы плода в системе мобильного мониторинга

Фетальный монитор представляется собой аппаратно-программный комплекс, включающий устройство захвата акустического сигнала, смартфона и сервера обработки и хранения сигналов. Устройство снимает с акустических датчиков сигнал, передает его посредством интерфейса Bluetooth на мобильное устройство, которое в свою очередь отправляет полученные пакеты на сервер. Сервер обрабатывает сигнал с целью получения кривой частоты сердечных сокращений (ЧСС) и других параметров, необходимых для оценки

состояния сердечно-сосудистой системы плода. Доступ к обработанным данным врач имеет через веб-ориентированное рабочее место врача.

В работе рассматриваются алгоритмы определения плавающего базального ритма, варибельности, STV, критерия Фишера и детектирования акцелераций и децеллераций при пакетной обработке данных ЧСС. Базальный ритм — это среднее значение ЧСС за промежуток времени (обычно 10 мин.), из которого исключаются акцелерации и децеллерации (участки ЧСС с отклонением от базального ритма более 15 уд./мин. продолжительностью более 15 с).

В работе применена модификация алгоритмов [1] и [2] для расчета плавающего базального ритма в потоковой обработке. Сигнал ЧСС предварительно редискретизируется, происходит удаление областей, лежащих за пределами области интервала от 300 до 600 мс. На 4 итерациях происходит получение промежуточного базального ритма путем сглаживания кривой ЧСС фильтром низких частот в участках, превышающих пороговое значение P , и замены участков копии ЧСС, которое участвует в сглаживании, на отрезки базального ритма, если данный участок превышает пороговые значения.

Варибельность (амплитуда и частота осцилляций) определяется учетом пересечений базального ритма и ЧСС. STV (короткая варибельность) считается на минутном сигнале, где исключены акцелерации и децеллерации, путем разделения его на 16 частей и поиска разности их средних значений, где значением STV будет являться среднее от значения разностей. Критерий Фишера определяется суммой баллов, начисляемых за соответствие характеристик заданным промежуткам значений.

В результате сформирован модуль пакетной обработки ЧСС, позволяющий оценить состояние сердечно-сосудистой системы.

Результаты получены при выполнении работ по Соглашению № 14.579.21.0019 (проект RFMEFI57914X0019) на тему «Разработка устройства суточного мониторинга состояния плода и матери во время беременности посредством контроля параметров сердечно-сосудистой системы на основе акустических данных», заключенному между ООО «Диагностика+» и Министерством образования и науки РФ.

Научный руководитель — к.т.н. Жданов Д.С.

Список литературы

- [1] DAWES G. S., HOUGHTON G. R. S., REDMAN C. W. G. Baseline in human fetal heart-rate records // British J. Obstetrics and Gynaecology. — 1982. — Vol. 89, P. 270–275.
- [2] MANTEL R. Computer analysis of antepartum fetal heart rate: 1. Baseline determination // Intern. J. Bio-Medical Comp. — 1990. — Vol. 25, P. 261–272.

1.45. Крахалёв А.А. О стохастических параметрах, влияющих на функционирование рынка недвижимости

Рынок недвижимости — это перспективный сегмент экономики. 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 совокупность 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 решение стохастического дифференциального уравнения.

В докладе будут представлены 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.

Список литературы

- [1] ХУТОРЕЦКИЙ А. Б. Анализ краткосрочных равновесий на рынке жилья с приложением к разработке жилищной политики / М.: РПЭИ, 2001.
- [2] KRAKHALYOV A. A. About finding of the stochastic parameters influencing functioning of the market of real estate // Proc. 54th Intern. Sci. Student Conf. ISSC-2016: Mathematics. — 2016. — P. 207.
- [3] АРТЕМЬЕВ С. С., ЯКУНИН М. А. Математическое и статистическое моделирование в финансах / Новосибирск: Изд-во ИВМиМГ СО РАН, 2003.

1.46. Круглова Е.А., Блохин А.М., Семисалов Б.В. Численное моделирование неизотермического течения полимерной жидкости между двумя соосными цилиндрами с контролем погрешности

Стремительное развитие современных технологий 3D печати с использованием полимерных материалов требует разработки новых математических моделей, описывающих течения растворов и расплавов полимеров с высокой степенью достоверности. Для решения уравнений таких моделей необходимы новые вычислительные схемы, обладающие повышенной точностью и устойчивостью.

В данной работе описана мезоскопическая модель течения полимерной жидкости [1, 2] между двумя соосными цилиндрами (внутренний цилиндр представляет тонкий нагревательный элемент [3]); для определения скорости течения поставлена нелинейная краевая задача с малым параметром, наличие которого затрудняет процесс решения задачи традиционными подходами. Эту проблему мы решаем, приближая искомую функцию интерполяционным полиномом в форме Лагранжа с узлами в корнях многочлена Чебышева. Такое приближение, не имеющее насыщения по К.И. Бабенко, в отличие от конечно-разностных методов, справляется с большим градиентом, возникающим в решении.

Численные решения краевой задачи найдены с помощью нелокального алгоритма, основанного на применении указанных приближений [4]. Даны результаты расчётов различных режимов течения. Для сравнения, приведены результаты работы конечно-разностного метода, позволившего найти решения лишь для случая, когда радиус нагревательного элемента на три порядка больше [5], чем в рассмотренных режимах. Получены оценки точности двух компонент погрешности: вычислительной погрешности и погрешности метода.

Список литературы

- [1] РОКРОВСКИЙ V. N. The Mesoscopic Theory of Polymer Dynamics. 2nd ed. // Berlin: Springer, 2010.
- [2] БЛОХИН А. М., СЕМИСАЛОВ Б. В. Стационарное течение несжимаемой вязкоупругой полимерной жидкости в канале с эллиптическим сечением // Сиб-ЖИМ. — 2014. — Т. XVII, № 4 (60), С. 38–47.
- [3] КРУГЛОВА Е. А. Численный анализ свойств неизотермического течения полимерной жидкости в цилиндрическом канале с тонким нагревательным элементом // Матер. 54-й Междунар. Науч. Студенческой Конф. (ISSC-2016). — 2016. — С. 50.
- [4] СЕМИСАЛОВ Б. В. Нелокальный алгоритм поиска решений уравнения Пуассона и его приложения // Журн. выч. мат. и мат. физ. — 2014. — Т. 54, № 7, С. 1110–1135.
- [5] БЛОХИН А. М., СЕМЕНКО Р. Е. Течение несжимаемой полимерной жидкости между двумя соосными цилиндрами // Вест. НГУ. Сер.: матем., мех., информ. — 2015. — Т. 15, № 4, С. 24–34.

1.47. Кузьмин Г.А., Семисалов Б.В. Спектральный метод повышенной скорости сходимости для решения задач с пограничным слоем

На данный момент большое количество проблем математического моделирования сводятся к численному решению сингулярно возмущенных краевых задач для дифференциальных уравнений [1]. В настоящей работе для такого класса задач разработан метод, основанный на специфическом отображении области определения ряда Фурье на отрезок $[-1, 1]$. Одно из таких отображений даёт разложение:

$$f(x) \approx \sum_{k=0}^N a_k \cos \left(k \arccos \left[\frac{\tan(x \arctan(b))}{b} \right] \right),$$

$$B(k, x) = \cos \left(k \arccos \left[\frac{\tan(x \arctan(b))}{b} \right] \right),$$

где $b > 0$ — параметр. При условии бесконечной гладкости функции f базис $B(k, x)$ даёт экспоненциальную скорость убывания погрешности и высокую численную устойчивость метода.

Проведено сравнение результатов приближения гладких функций с погранслоями составляющими в базисе $B(k, x)$, базисе Чебышёва $T(m, x)$ и преобразованном базисе $\tilde{T}(m, x)$, выведенном в [2]. Кроме того, методом коллокаций были найдены численные решения краевой задачи:

$$\varepsilon f''(x) - f(x) = -\sin \pi x (\varepsilon \pi^2 + 1),$$

$$f(-1) = 1, f(1) = -1, \quad \varepsilon \ll 1$$

и краевой задачи из [2] с известным точным решением. Результаты, полученные с помощью метода, основанного на применении базиса $B(k, x)$ при определённых значениях N ($N \approx 70 - 100$) превосходят решения, использующие $T(m, x)$ и $\tilde{T}(m, x)$ на 10 и 7 десятичных порядков по точности при $\varepsilon = 10^{-10}$ [3].

Список литературы

- [1] KADALBAJOO M.K., GUPTA V. A brief survey on numerical methods for solving singularly perturbed problems // Appl. Math. and Computat. — 2010. — Vol. 217, N 8, P. 3641–3716.
- [2] LIU W., TANG T. Error Analysis for a Garelkin-Spectral Method for Solving a Class of Parameterized Singularly Perturbed Problems // Appl. Numer. Math. — 2001. — Vol. 38, P. 315–345.
- [3] КУЗЬМИН Г.А., СЕМИСАЛОВ Б.В. Об одном классе спектральных методов для решения задач с пограничным слоем // Тез. док. VIII Всерос. Конф. «Актуальные проблемы прикладной математики и механики». — 2016. — С. 58–59.

1.48. Куликов И.М. Образование молекулярного облака в ходе развития МГД турбулентности межзвездной среды с учетом химокинетики

В докладе будет представлена новая численная модель химодинамики межзвездной среды в ходе эволюции сверхзвуковой турбулентности. Численная модель основана на совместном решении уравнений многокомпонентной гравитационной магнитной газовой динамики, обыкновенного дифференциального уравнения для эволюции концентрации ионизированного водорода с обоснованием его доминирования и допускающего аналитическое решение. Использование такой модели позволяет сформулировать единый параллельный вычислительный метод, основанный на комбинации метода разделения операторов, метода Годунова и кусочно-параболического метода на локальном шаблоне. При использовании native режима было получено 134-кратное ускорение при использовании одного ускорителя Intel Xeon Phi и 73 % эффективность при использовании 256 ускорителей суперкомпьютера «Политехник RSC PetaStream».

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 15-31-20150, 15-01-00508) и Президента Российской Федерации (грант № МК-6648.2015.9).

1.49. Кутышцева А.Ю. Математическое моделирование трещиноватых структур расширенным методом конечных элементов

На сегодняшний день большое внимание уделяется исследованию эффективных свойств естественных и искусственных материалов. На начальных этапах таких исследований выполняется математическое моделирование многомасштабных и многофизических процессов, поскольку такой подход позволяет значительно уменьшить затраты на лабораторные эксперименты. Однако математическое моделирование в таких сложных средах требует разработки специальных методов и вычислительных схем, поскольку классические методы, такие как метод конечных элементов (FEM), накладывают значительные ограничения на размеры задач. Кроме того, при рассмотрении процессов, предполагающих подвижные внутренние и внешние границы (например, распространение трещин в среде), необходимо на каждом временном шаге перестраивать сеточные разбиения, что для трехмерных областей со сложной геометрией является нетривиальной процедурой. Для преодоления данных особенностей для задач упругости применяется расширенный метод конечных элементов (XFEM), основанный на представлении пространства решений, как сумму непрерывного (регулярного) и разрывного (сингулярного) подпространств. При этом непрерывное подпространство позволяет учесть влияние внешних воздействий на среду, а разрывное подпро-

странство отслеживает внутренние границы (поры, трещины, границы материалов и т.д.). Таким образом, все внутренние особенности и разрывы в решении учитываются на функциональном уровне при построении функций формы, а не на геометрическом уровне, что позволяет не перестраивать сетку при изменении внутренних границ. XFEM широко применяется для решения задач упругости в двумерных областях с трещинами. В случае трехмерных сред значительно усложняются процедуры построения функций формы для сингулярного подпространства, особенно для случайно ориентированных трещин. И для простоты, как правило, рассматриваются конечноэлементные сетки из элементов-параллелепипедов.

В данной работе рассматривается задача упругой деформации трехмерных твердых тел с внутренними дефектами под воздействием внешнего нагружения. Для решения задачи разработаны и реализованы вычислительные схемы на языке C++ на базе XFEM для тетраэдральных конечных элементов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-29-15094-офи_м).

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

1.50. Кучунова Е.В., Вяткин А.В. Параллельная реализация полулагранжевого метода для двумерного уравнения неразрывности на многопроцессорных вычислительных системах

В работе представлена параллельная реализация алгоритма численного решения двумерного уравнения неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(u\rho)}{\partial x} + \frac{\partial(v\rho)}{\partial y} = f(t, x, y).$$

Здесь $(x, y) \in \Omega \subset R^2$, $t \in [0, T]$; $u(t, x, y)$, $v(t, x, y)$ и $f(t, x, y)$ — достаточно гладкие функции, известные в области $[0, T] \times \Omega$. Неизвестной функцией является функция плотности $\rho(t, x, y)$, которую необходимо вычислить в $[0, T] \times \Omega$.

В данной работе реализуется полулагранжевый метод, основанный на интегральном законе сохранения, сформулированном в виде тождества интегралов с областями интегрирования на соседних слоях по времени [1]. Аппроксимация численного решения на каждом слое по времени раскладывается на три составляющих: аппроксимация интеграла на верхнем слое по времени, на котором решение еще не известно; построение характеристик (траекторий) с верхнего временного слоя на нижний слой; приближенное вычисление интеграла на нижнем слое по времени. Для некоторых из этих алгоритмов получены результаты, позволяющие учитывать краевые условия Дирихле, обосновывать сходимость метода и выполнение дискретного аналога балансового соотношения [2].

Параллельная версия алгоритма реализована для высокопроизводительных вычислительных систем гибридной архитектуры. В программной реализации параллельного алгоритма объединены технология передачи сообщений MPI и технология многопоточного программирования OpenMP. В параллельной программе осуществлена декомпозиция расчетной области по вычислительным узлам с использованием блочного разбиения области Ω . В этом случае вычислительная область делится на горизонтальные и вертикальные полосы, образуя блоки, количество которых определяется количеством используемых вычислительных узлов. В каждом блоке вычисления производятся независимо. В связи с имеющейся зависимостью по данным с предыдущего временного слоя, в каждом блоке выделены теневые грани для обмена значениями между соседними вычислительными узлами. Обмен значениями в теневых гранях осуществляется после каждого шага по времени при помощи пересылки сообщений. При проведении расчетов в пределах одного блока дополнительно применяется технология многопоточного программирования.

Проведен анализ эффективности применения гибридной архитектуры по сравнению с параллельным алгоритмом, основанным только на технологии OpenMP с общей памятью.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 14-01-00296).

Список литературы

- [1] Вяткин А. В., Кучунова Е. В. Параллельная реализация полулагранжевого метода для уравнения неразрывности // Образовательные ресурсы и технологии. — 2016. — № 2 (14).
- [2] Вяткин А. В., Ефремов А. А., Кареева Е. Д. и др. Использование гибридных вычислительных систем для решения уравнений переноса модифицированным методом траекторий // Тр. V Междунар. Конф. «Системный анализ и информационные технологии (САИТ-2013)». — С. 45–55.

1.51. Латышев А.А., Семисалов Б.В. Численное решение задачи совместного деформирования двух упругих стержней

Перспективным решением авиационной и космической отраслей является применение анизотропных сетчатых конструкций из углепластика [1]. В данной работе сделаны первые шаги к построению новой дискретной модели, которая представляет такие конструкции в виде совокупности композитных стержней, неделимых на отдельные элементы точками пересечения. В качестве модельной задачи рассматриваются два упругих, изотропных стержня № 1 и № 2, соединённых жёстко в точке пересечения с жёстко закреплёнными концами. На стержни действуют нагрузки $P_{1,2}(x_{1,2})$, распределённые по их длинам $L_{1,2}$. Задача состоит в вычислении прогибов стержней $\omega_{1,2}(x_{1,2})$.

Как известно [2], статические деформации упругих стержней описываются дифференциальным уравнением, полученным Я. Бернулли:

$$\frac{E_{1,2}h_{1,2}^3}{12} \frac{d^4\omega_{1,2}}{dx_{1,2}^4} = P_{1,2}(x_{1,2}), \quad x_{1,2} \in [0, L_{1,2}], \quad (1)$$

где $E_{1,2}$ — модули Юнга; $h_{1,2}$ — толщины стержней; $x_{1,2}$ — координаты, связанные со стержнями. Условия жесткого закрепления:

$$\omega_{1,2}(0) = \frac{\partial\omega_{1,2}}{\partial x_{1,2}}(0) = 0, \quad (2)$$

$$\omega_{1,2}(L_{1,2}) = \frac{\partial\omega_{1,2}}{\partial x_{1,2}}(L_{1,2}) = 0. \quad (3)$$

Система стержней рассматривается как единое деформируемое твердое тело, поэтому точка их пересечения при деформации смещается на одну и ту же величину. Как следствие, дополняя (1)–(3) условием

$$\omega_1(l_1) = \omega_2(l_2),$$

получаем переопределенную задачу, где $l_{1,2}$ — координаты в системах $x_{1,2}$ точки пересечения.

Будем искать численные значения прогибов, удовлетворяющих условиям задачи в смысле наименьших квадратов. Для этого используем метод коллокаций и наименьших квадратов [3] и итерационный метод установления. Аппроксимируя функции прогибов стержней интерполяционными полиномами с узлами в нулях многочленов Чебышёва, удовлетворяющими заданным краевым условиями, и подставляя полиномы в (1), получим систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Добавляя к этой системе условия жёсткого соединения стержней, мы сводим задачу к решению переопределенной СЛАУ. В результате работы на языке C++ реализована программа, рассчитывающая вектор значений прогибов в узлах интерполяции по следующим входным данным для обоих стержней: $L_{1,2}$, $l_{1,2}$, $P_{1,2}$. Для описания математических объектов и операций с ними используется библиотека Lapack++ (v2.5.4). Матрица коэффициентов метода коллокаций получена в Wolfram Mathematica (v10.0.2) при вычислении четвертых производных от интерполяционного полинома в узлах коллокации.

Список литературы

- [1] ВАСИЛЬЕВ В. В. и др. Анизотропные композитные сетчатые конструкции — разработка и применение к космической технике // Композиты и наноструктуры. — 2009. — № 3, С. 38–50.
- [2] BERNOULLI J. Curvatura laminae elasticae // Acta Eruditorum Lipsiae. — 1694. — P. 262–276.
- [3] ИСАЕВ В. И., ШАПЕЕВ В. П. Метод коллокаций и наименьших квадратов повышенной точности для решения уравнений Навье — Стокса // Докл. АН. — 2012. — Т. 442, № 4, С. 442–445.

1.52. Ле М.К., Лемперт А.А. Размещение логистических центров при точечном и непрерывном распределении потребителей

Рассматривается задача о размещении логистических центров в случае, когда расположение одной части потребителей известно, остальные считаются распределенными в заданной области с известной функцией плотности.

Пусть в некоторой ограниченной области $D \subseteq R^2$ задана непрерывная функция $0 < f(x, y) \leq \beta$, определяющая мгновенную скорость движения в точке (x, y) . Минимальное время передвижения между точками a и b определим следующим образом:

$$\tau(a, b) = \min_{G \in \Gamma(a, b)} \int_G \frac{dG}{f(x, y)},$$

где $\Gamma(a, b)$ — множество непрерывных кривых, лежащих в D и соединяющих точки a и b .

Пусть имеется заданное количество ограниченных областей $P_j \subset D$, $j = \overline{1, m}$ с плотностью $\rho_j(x, y)$ соответственно, тогда число потребителей:

$$N_j = \iint_{P_j} \rho_j(x, y) dx dy.$$

Кроме того, потребители располагаются в точках $B_i(x_i, y_i) \in D \setminus \bigcup_{j=1}^m P_j$, $j = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, n}$.

Необходимо определить расположение $Q = \{Q_k(x_k, y_k) \notin P_j, j = \overline{1, m}, k = \overline{1, r}\}$ логистических центров, чтобы минимизировать суммарное время достижения ближайшего узла потребителями.

Введем в рассмотрение множества

$$I_k = \{i : \tau(Q_k, B_i) \leq \tau(Q_p, B_i), \quad p = \overline{1, m}\}$$

$$J_k = \{j : \tau(Q_k, \partial P_j) \leq \tau(Q_p, \partial P_j), \quad p = \overline{1, m}\}$$

точечных и распределенных потребителей соответственно, обслуживаемых складом Q_k , $k = \overline{1, r}$. Тогда

$$\sum_{k=1}^r \left(\sum_{i \in I_k} \tau(Q_k, B_i) + \sum_{j \in J_k} N_j \tau(Q_k, \partial P_j) \right) \rightarrow \min.$$

Указанная задача является развитием задачи об оптимальном размещении логистических центров [1]. Алгоритм решения базируется на основе аналогии между распространением света в оптически неоднородной среде и минимизацией интегрального функционала [1, 2]. В докладе будут представлены описание предложенного алгоритма и результаты вычислительных экспериментов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-07-00222).

Список литературы

- [1] КАЗАКОВ А. Л., ЛЕМПЕРТ А. А. Об одном подходе к решению задач оптимизации, возникающих в транспортной логистике // Автом. и телем. — 2011. — № 7, С. 50–57.
- [2] ЛЕБЕДЕВ П. Д., УСПЕНСКИЙ А. А. Геометрия и асимптотика волновых фронтов // Изв. высш. учеб. зав. Мат. — 2008. — № 3, С. 27–37.

1.53. Лещинский Д.В., Данилкин Е.А. Параллельная реализация численного решения уравнения теплопроводности на МВС с распределенной памятью

Работа посвящена численному решению двумерного уравнения теплопроводности и реализации этого решения на многопроцессорной вычислительной системе с распределенной памятью.

Физическая постановка задачи сводится к моделированию процесса нагрева однородной прямоугольной пластины. В начальный момент времени температура пластины равна 10 °С. Затем к границам пластины подводится источник тепла с температурой равной 20 °С. Задача определить, как с течением времени будет изменяться температура пластины в различных ее точках. Процесс нагрева однородной пластины, описывается двумерным уравнением теплопроводности с граничными условиями первого рода и заданными начальными условиями. Численное решение, поставленной задачи выполнено с использованием метода конечных разностей на равномерной декартовой сетке. Полученная явная конечно разностная схема имеет второй порядок аппроксимации по пространству и первый по времени. Разработка программной реализации поставленной задачи выполнена на языке программирования C++ с использованием библиотеки MPI и одномерной геометрической декомпозиции для распараллеливания программы [1]. Расчеты проводились на 1, 2, 5, 10 и 20 процессах, для расчетной сетки 500×500 узлов. При указанных параметрах получено близкое к линейному ускорение работы параллельной программы.

Список литературы

- [1] Старченко А.В., Берцун В.Н. Методы параллельных вычислений / Томск: Изд-во ТГУ, 2013. — 225 с.

1.54. Люттов А.Е., Черный С.Г., Крюков А.Е., Чирков Д.В. Моделирование процесса усталостного разрушения колеса гидротурбин, вызванного взаимодействиями жидкости и конструкции на установившихся режимах работы

Доклад посвящён моделированию процесса усталостного разрушения колеса РО турбины, вызванного взаимодействием потока жидкости во всём проточном тракте и конструкции на установившихся режимах работы. Трёхмерное поле течения рассчитывается в спиральной камере, направляющем аппарате, рабочем колесе и отсасывающей трубе при помощи программы расчёта гидродинамики CADRUN2, разработанной в ИВТ СО РАН [1]. Далее по полю течения вычисляются динамические нагрузки на РК, вызванные ротор-статор взаимодействием, прецессией вихревого жгута в трубе и др. На каждом шаге по времени находятся напряжения

в РК, посчитанные в упруго-статическом приближении методом граничных элементов [2]. Получается множество состояний упругого равновесия, которые дают квази-динамическую картину пульсаций напряжений в РК.

Поскольку при проектировании колеса обеспечивается условие не превышения эквивалентными напряжениями критических, разрушение колеса обуславливается колебаниями напряжений. Поэтому для оценки срока службы локализуется точка, где амплитуда колебаний напряжений максимальна. Далее для оценки ресурса применяется модель, основанная на многоцикловой теории усталостного разрушения [3], которая по амплитуде пульсаций напряжений позволяет вычислить количество циклов нагружения до момента усталостного разрушения. По количеству циклов нагружения и рабочей частоте колеса вычисляется срок службы колеса.

В работе приведена верификация и валидация разработанной численной модели на примере рабочего колеса реальной гидротурбины, подвергшейся преждевременному усталостному разрушению из-за некорректной оценки ресурса при проектировании.

Список литературы

- [1] CHERNY S. G., CHIRKOV D. V., LAPIN V. N. ET AL. Unsteady Flow Computation in Hydroturbines Using Euler Equations // Turbomachines: Aeroelasticity, Aeroacoustics, and Unsteady Aerodynamics. — 2006. — P. 356–369.
[2] ALEKSEENKO O. P., POTAPENKO D. I., CHERNY S. G. ET AL. 3-D Modeling of fracture initiation from perforated noncemented wellbore // SPE J. — 2013. — Vol. 18, N 3, P. 1–16.
[3] STEPHENS R. I., FATEMI A., STEPHENS R. R., FUCHS H. O. Metal Fatigue in Engineering, Second Edition / John Wiley & Sons, 2001.

1.55. Макарова А.Ю. Итерационный метод решения задачи «гидродинамика — упругость» модели радиальной трещины с явным заданием величины шага по времени

С целью интенсификации добычи при эксплуатации нефтяных скважин применяется технология гидроразрыва пласта. В скважину закачивается жидкость, вызывающая распространение трещины, а проницаемость породы с заполненными проппантом трещинами значительно превосходит проницаемость исходной породы. Это позволяет существенно увеличить дебит скважины. Эффективность данного метода можно повысить путём подбора реологии и количества закачиваемой жидкости, интервала времени, с которым она закачивается, а также концентрации проппанта.

Решение обратной задачи, заключающейся в расчёте параметров жидкости, удобно проводить на основе модели радиальной трещины [1]. Модель является одномерной, что существенно экономит вычис-

лительные ресурсы и позволяет рассчитывать иско-
мые величины для длинных трещин.

Для разрешения задачи используются аналитиче-
ское решение уравнений упругости для вычисления
ширины трещины, одномерные уравнения движе-
ния неньютоновской жидкости с реологией Герше-
ля — Балкли в канале переменного сечения, крите-
рий Ирвина распространения трещины и закон Кар-
тера для расчёта утечки.

В прямой задаче распространения трещины при
подборе оптимальных параметров расписания за-
качки важно иметь возможность задавать величину
шага по времени. Однако описанный в [1] алгоритм
требует вместо этого задания величины прираще-
ния фронта трещины. В докладе предлагается но-
вый алгоритм, в котором задаётся величина шага
по времени, а положение фронтов жидкости и ра-
диуса трещины рассчитываются соответственно.

В целях повышения скорости расчёта в ходе рабо-
ты рассмотрен ряд итерационных методов решения
нелинейной задачи «гидродинамика — упругость»,
а именно метод релаксации, метод Ньютона и гра-
диентного спуска.

Список литературы

- [1] CHERNY S.G., LAPIN V.N., ESIPOV D.V. ET AL.
Simulating fully 3D non-planar evolution of hydraulic
fractures // Intern. J. Fracture. — 2016. — Vol. 201 (2),
P. 181–211.

1.56. Мамышева Т.Н., Лихачев А.В. Модели- рование неоднородностей магнитных полей в задаче ЯМРТ

Работа посвящена исследованию зависимости точ-
ности реконструкции ЯМРТ-изображения от неод-
нородностей основного и градиентных магнитных
полей. Обозначим распределение протонной плот-
ности в исследуемом слое объекта как $g(x, y)$. Если
пренебречь релаксационными эффектами, то сиг-
нал ЯМР, регистрируемый от элемента объёма $dxdy$
в окрестности точки (x, y) может быть выражен сле-
дующим образом:

$$ds = Cg(x, y)dxdy \exp(i\gamma(B_1t_x + B_2t_y)). \quad (1)$$

Здесь γ — гиромагнитное отношение; t_x и t_y — со-
ответственно время включения градиентного поля
вдоль осей X и Y ; C — постоянный коэффициент
пропорциональности (см. [1]). Если основное маг-
нитное поле однородно в пределах слоя и имеет на-
пряжённость B_0 , а напряжённость градиентных по-
лей изменяется строго линейно, то

$$B_1 = B_0 + xG_x, \quad B_2 = B_0 + yG_y, \quad (2)$$

где G_x и G_y — константы. В этом случае сигнал
ЯМР на резонансной частоте $\omega_0 = \gamma B_0$ для слоя

равен

$$s(t_x, t_y) = C_G \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(\omega_x, \omega_y) \times \\ \times \exp(i(\omega_x t_x + \omega_y t_y)) d\omega_x d\omega_y. \quad (3)$$

Здесь $\omega_x = \gamma x G_x$, $\omega_y = \gamma y G_y$, $C_G = C(\gamma^2 G_x G_y)^{-1}$.
Как видно из (3), искомое распределение является
преобразованием Фурье функции $s(t_x, t_y)$, которая
получается в результате измерений.

На практике уравнения (2) никогда не выполняются
точно. Поэтому в работе для моделирования значе-
ний $s(t_x, t_y)$ использовались выражения

$$B_1 = B_0 + \delta B_0(x, y) + x(G_x + \delta G_x(x, y)), \\ B_2 = B_0 + \delta B_0(x, y) + y(G_y + \delta G_y(x, y)), \quad (4)$$

где функции $\delta B_0(x, y)$, $\delta G_x(x, y)$, $\delta G_y(x, y)$ описы-
вают возмущения основного и градиентных маг-
нитных полей соответственно. В проведённом вы-
числительном эксперименте (4) подставлялись в (1)
и проводилось интегрирование по $dxdy$. Таким об-
разом моделировались экспериментальные данные,
содержащие искажения. Путём преобразования Фу-
рье вычислялись томограммы, в результате анализа
которых делались выводы о характере артефактов.
Научный руководитель — д.т.н. Лихачев А. В.

Список литературы

- [1] ХАУССЕР К. Х., КАЛЬБИТЦЕР Х. Р. ЯМР в меди-
цине и биологии: структура молекул, томография,
спектроскопия in-vivo: Пер. с англ. / Киев: Наук.
Думка, 1993. — 259 с.

1.57. Мариненко А.В., Эпов М.И. Использование вычислительных технологий на различ- ных этапах создания новой геофизиче- ской установки для разведки на шельфе

В работе описаны этапы создания новой геофизиче-
ской установки для разведки на шельфе и вычисли-
тельные методы, которые непременно сопутствуют
данному этапу. Первым шагом является идея, ко-
торая появляется после изучения российской и за-
рубежной литературы схожей тематики. Идея опи-
сываемого в работе устройства возникла как ком-
пильция двух известных на сегодняшний день мор-
ских геоэлектрических установок, реализованных в
методах «Controlled Source Electro-Magnetic» [1] и
«Зондирования вертикальными токами» [2]. Каж-
дый из этих методов имеет недостатки там, где дру-
гой метод имеет достоинства (мобильность / не мо-
бильность, сложная реализация / простая реализа-
ция, работа на больших / малых глубинах и т.д.). В
представленном проекте сделана попытка объеди-
нить их лучшие качества и отбросить худшие. В ре-
зультате было получено подповерхностное устрой-
ство для морской электроразведки в движении суд-
на, состоящее из: блока формирования возбуждаю-

щего поля, включающего коммутатор, формирующий непрерывную синусоидальную импульсную последовательность переменного тока с частотой от 1 до 100 Гц и силой тока от 5 до 7500 А; судовой генератор; генераторную установку, состоящую из двух перпендикулярных изолированных кабельных линий; блок измерения сигналов, включающий приемную двухэлектродную кабельную линию, размещенную на некотором удалении от источника и служащую для измерения разности фаз. Кроме вышесказанного, устройство включает: резистивиметр; многоканальное измерительное устройство; судовой эхолот; приемоиндикатор «Global Position System» (GPS) / «Глобальная навигационная спутниковая система» (ГЛОНАСС) и процессор для обработки сигналов. С помощью вычислительного аппарата производится общая оценка эффективности установки. В качестве такого аппарата был выбран трехмерный векторный метод конечных элементов в постановках, которые позволяют рассчитывать электромагнитное поле в градиентных средах, к которым относится морская вода. Для определения нужных частот, сил тока в кабелях-источниках, размеров и разносов рассматриваемой установки на начальном этапе используются теоретические знания о работе подобных установок в аналогичных средах. Более точная настройка производится путем математического моделирования. Если численное моделирование в каких-то случаях показывает высокую эффективность разработанного метода, то необходимо понять и сформулировать общие принципы настройки параметров установки. Другими словами, необходимо выяснить, какую численную задачу нужно поставить и решить, чтобы это помогло настроить характеристики установки на режим максимально успешного поиска нефтегазовых месторождений. Завершающий этап также не обходится без численного моделирования. Здесь оно помогает определить помехоустойчивость работы установки в реальных условиях. В представленном проекте проверке подвергается влияние возможного смещения кабелей с током, которое может происходить при движении судна с прикрепленными к его корме буксируемыми устройствами, а также влияние других объектов на создаваемое электромагнитное поле — например, плота, на котором, либо под которым размещаются кабели-источники или слоя льда, присутствующего при работе в условиях Крайнего Севера.

Список литературы

- [1] CONSTABLE S., SRNKA L. J. An introduction to marine controlled-source electromagnetic methods for hydrocarbon exploration // *Geophysics*. — 2007. — Vol. 72, N 2, P. WA3-WA12.
- [2] Могилатов В. С., Балашов Б. П. Зондирование вертикальными токами / Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. — 207 с.

1.58. Марков П. В. Применение непрерывных групп симметрий для генерации численных решений на примере разностных схем уравнения фильтрации газа

Данная работа посвящена применению непрерывных групп симметрий, которые задаются локальными группами Ли, для ускорения численных расчетов, основанных на конечно-разностных схемах. Ускорение достигается за счет генерации численных решений преобразованиями из группы симметрии [1] для инвариантных разностных схем [2].

Рассмотрение ведется для частного случая дифференциального уравнения фильтрации идеального газа в одномерной пористой среде с учетом эффекта Клинкенберга [3], который выражается в связи абсолютной проницаемости, давления и характеристик газа:

$$\frac{\partial P}{\partial t} - \gamma \frac{\partial}{\partial x} \left((P + K_2) \frac{\partial P}{\partial x} \right) = 0, \quad \gamma = \frac{K_1}{\mu \phi}. \quad (1)$$

Для уравнения (1) построены инвариантные разностные схемы, которые наследуют группу симметрий исходного уравнения. Непрерывные симметрии уравнения (1) найдены на основе групповой классификации уравнений теплопроводности из [4]. Для построенных разностных схем проводились численные расчеты для частных случаев задач: моделирование фильтрации газа на макромасштабе газовых месторождений и моделирование фильтрации газа на микромасштабе пористой среды с помощью моделей поровых сетей. Проведенные расчеты показали преимущество в скорости расчетов на несколько порядков метода генерации численных решений по сравнению с методами, которые сводятся к решению систем алгебраических уравнений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-29-15119).

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

Список литературы

- [1] МАРКОВ П. В., РОДИОНОВ С. П. Метод ускорения серийных численных расчетов уравнений многофазной фильтрации в пористой среде с помощью непрерывных групп симметрий // *Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности*. — 2015. — № 12, С. 23–30.
- [2] DORODNITSYN V. Applications of Lie Groups to Difference Equations / Taylor and Francis Group, 2011.
- [3] AL-HUSSAINY R., RAMEY H. J., CRAWFORD P. B. The Flow of Real Gases through Porous Media // *J. Petroleum Tech.* — 1966. — SPE 1243A.
- [4] ЛАГНО В. И., СПИЧАК С. В., СТОГНИЙ В. И. Симметричный анализ уравнений эволюционного типа / М.-Ижевск: Институт комп. иссл., 2004. — 392 с.

1.59. Марков С.И., Иткина Н.Б. Применение стабилизированного векторного метода конечных элементов для моделирования течений газов

Математическое моделирование течений газов необходимо на этапе проектирования летательных аппаратов, освоения новых нефтегазовых месторождений и для реализации сложных систем транспортировки энергетического сырья до потребителей. Возникает проблема прогнозирования безотказных и эффективных режимов функционирования технологического оборудования и, как следствие, необходимость в оценке техногенного воздействия на окружающую среду при эксплуатации оборудования.

Применение математического моделирования позволяет эффективно решать данный класс инженерных задач. Однако при математическом моделировании процесса течения газов для большинства классических вычислительных схем характерно наличие вычислительной неустойчивости, обусловленной преобладанием конвективного переноса (при достаточном большом значении числа Пекле). Поэтому метод решения должен быть естественным образом адаптируемым к параметрам математической модели и отражать сложную структуру процесса. В данной работе приводятся оригинальная вычислительная схема стабилизированного векторного метода конечных элементов в трёхмерной постановке, результаты математического моделирования течения газов, рекомендации по технологии выбора стабилизирующих параметров вычислительной схемы. Впервые исследована возможность применения вычислительной схемы на базе стабилизированного векторного метода конечных элементов со специальным векторным базисом пространства Неделека, что позволяет выполнить условие Ладыженской — Бабушки — Бреци при использовании базисов первого порядка для аппроксимации поля давления и поля скоростей.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии президента РФ (приказ № 375).

1.60. Матвеев А.С., Дучков А.А. Параллельный алгоритм быстрого преобразования Фурье на нерегулярных сетках с блочным разбиением

Преобразование Фурье является популярным средством анализа сигналов и изображений. Алгоритмы вычисления быстрого преобразования Фурье (БПФ) входят во многие вычислительные библиотеки. Существующие алгоритмы БПФ предполагают, что входные данные дискретизированы с равномерным шагом, однако, для некоторых задач это условие не выполняется. Алгоритм быстрого преобразования Фурье на нерегулярных сетках (USFFT) [1], который учитывает данную особенность, появился совсем недавно, и его реализация не является хорошо изученной.

В данном алгоритме можно условно выделить три этапа: дискретная свертка в заданном радиусе, быстрое преобразование Фурье и деконволюция. В ходе профилирования было установлено, что до 95 % времени выполнения преобразования приходится на выполнение этапа дискретной свертки. Оптимизации именно этого этапа посвящена большая часть проделанной работы.

Данный этап характеризуется малым количеством вычислений на каждое обращение в память, что приводит к большой зависимости времени вычисления от эффективности использования кэша. Учитывая этот факт, были разработаны и реализованы с использованием технологии openMP параллельные алгоритмы с блочным разбиением, которые позволили добиться не только эффективной загрузки вычислительных устройств, но и сократить количество кэш-промахов при проведении операции дискретной свертки в заданном радиусе.

Исследована эффективность распараллеливания полученной реализации, которая составила 0.86 при выполнении на 16-ядерном узле. Проведено сравнение с существующей параллельной реализацией данного преобразования — библиотекой NFFT, в ходе которого было выявлено, что полученная реализация до трех раз быстрее в случае синтетических тестов со случайно распределенными точками нерегулярной сетки.

Список литературы

- [1] DUTT A., ROKHLIN V. Fast Fourier transforms for nonequispaced data // SIAM J. Sci. Comp. — 1993. — Vol. 14, N 6, P. 1368–1393.

1.61. Микущина В.А. Компьютерное моделирование механического поведения биокompозита с учетом накопления повреждений

В данной работе представлены результаты моделирования механического поведения биокompозита с учетом накопления повреждений. Биокompозит представляет собой пористый керамический имплантат, заполненный кортикальной костной тканью. При решении задачи структура пористости керамического имплантата описывается явным образом при помощи геометрической модели представительного объема с полидисперсным распределением пор. Задача учета влияния накопления повреждений на эволюцию параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) биокompозита в процессе нагружения решалась для статистически представительной совокупности фрагментов данной модели, положение которых в пределах представительного объема выбиралось случайным образом. При выборе фрагментов представительного объема учитывалось требование обеспечения их локальной представительности. Исследования проводились в рамках многоуровневого подхода к описанию механических свойств материалов.

Задача определения НДС объема биокompозита для мезоскопического уровня решалась в двумерной постановке, рассматривался случай статического одноосного нагружения. Расчет параметров НДС выполнен с помощью метода конечных элементов [1, 2]. Учитывая нелинейный характер задачи, обусловленный учетом влияния эффекта накопления повреждений, для ее решения использовался метод пошагового нагружения.

В ходе работы исследовалась эволюция параметров законов распределения эффективных мезоуровневых значений напряжений в процессе нагружения материала. Исследование статистических характеристик параметров НДС производилось вплоть до выполнения перколяционного критерия разрушения представительного объема материала.

Результаты моделирования показали, что накопление повреждений оказывает влияние на вид законов распределения параметров значения НДС на мезоскопическом уровне, что проявляется в появлении порогового значения распределения напряжений, а также в существенном уменьшении размаха распределения.

Список литературы

- [1] СЕГЕРЛИНД Л. Применение метода конечных элементов / М.: Мир, 1979. — 392 с.
- [2] МОРОЗОВ Е. М., НИКИШКОВ Г. П. Метод конечных элементов в механике разрушения / М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. — 256 с.

1.62. Митин К. А. Численное моделирование сопряженного свободноконвективного теплообмена методом конечных элементов

На примере моделирования сопряженного свободноконвективного теплообмена при параметрическом исследовании локальных особенностей и закономерностей сопряженного теплообмена при выращивании поли- и монокристаллов, в тонкостенных конструкциях, типа авиационных и ракетных баков, и геодинамических систем рассмотрены особенности численного моделирования термогравитационной конвекции методом конечных элементов [1–3]. Моделирование свободноконвективного теплообмена проводилось на основе системы уравнений Навье — Стокса в приближении Буссинеска в безразмерном виде с применением дипольного подхода. На всех жестких границах задавалось условие прилипания жидкости или газа. Отсюда возникает проблема учета краевых условий для вихря на жестких криволинейных или трехмерных границах. Аппроксимация значений вихря на жестких поверхностях проводилась методом согласованных результатов. На примере моделирования потери устойчивости свободноконвективным пограничным слоем и локальных особенностей сопряженного теплообмена на начальной стадии ламинарно-турбулентного

перехода рассмотрены различные подходы к сгущению сеток. Полученные результаты численного моделирования представляют интерес при отработке процессов выращивания поли- и монокристаллов и анализе термических напряжений в тонкостенных конструкциях.

Работа выполнена при поддержке СО РАН (проект № III.18.2.5. Гос. рег. № 01201350443) и РФФИ (грант № 15-08-07991-а).

Список литературы

- [1] БЕРДНИКОВ В. С., МИТИН К. А., МИТИНА А. В. Влияние конвективной теплоотдачи на поле температуры в низкотеплопроводной вертикальной стенке // Тепловые процессы в технике — 2015. — Т. 7, № 3, С. 103–108.
- [2] БЕРДНИКОВ В. С., МИТИН К. А., МИТИНА А. В. Сопряженный теплообмен U-образного кремниевого стержня с окружающей средой в режиме термогравитационной конвекции газа // Вест. НГУ. Сер. физика. — 2014. — Т. 9, № 3, С. 63–74.
- [3] БЕРДНИКОВ В. С., МИТИН К. А. Влияние режимов теплоотдачи на поля температуры и термических напряжений в монокристаллах // Изв. РАН. Сер. физическая. — 2016. — Т. 80, № 1, С. 75–80

1.63. Михайлов С. О. Численное моделирование течений жидкости со свободными границами методом естественных элементов

Моделирование течений несжимаемой жидкости со свободными границами, сопровождающихся нелинейными эффектами и большими деформациями расчетной области, невозможно без использования современных численных методов. В частности, к таким методам относятся бессеточные методы. Кроме преимуществ, по сравнению с сеточными методами, и больших возможностей для моделирования, данные методы обладают и недостатками, связанными со сложностью вычисления интерполирующих функций и способов внедрения граничных условий. Метод естественных элементов (Natural Element Method, NEM) основывается на методе Галеркина и для аппроксимации искомых функций использует интерполяцию Сибсона [1]. Данная интерполяция дает хорошие результаты при произвольном расположении расчетных узлов, не теряя при этом точности даже в подобластях с сильным сгущением. NEM позволяет внедрять граничные условия аналогично методу конечных элементов, интерполяция обладает свойством линейной согласованности.

Реализация интерполяции Сибсона в трехмерном случае вызывает большие сложности, так как для построения функции необходим алгоритм, позволяющий вычислять объем пересечения различных политопов (трехмерных ячеек Вороного). Алгоритм Лассере справляется с данной проблемой [1], однако для вычисления производных от функции формы требуется высокие вычислительные и временные затраты. При использовании квадратуры Гаусса для интегрирования слабой формы метода Галеркина,

наблюдается дополнительная погрешность, связанная с тем, что носитель функции формы и элементы фоновой сетки не совпадают. В данной работе эти проблемы решаются с помощью применения метода SCNI (Stabilized Conformal Nodal Integration) [2], позволяющего не вычислять производные от функции формы и использующего диаграмму Вороного в качестве фоновой сетки для интегрирования.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Карабцев С. Н.

Список литературы

- [1] ALFARO I., YVONNET J., CHINESTA F., CUETO E. A study on the performance of natural neighbour-based Galerkin methods // Intern. J. Num. Methods in Eng. — 2007. — Vol. 7, N 12, P. 1436–1465.
- [2] YOO J., MORAN B., CHEN J. Stabilized conforming nodal integration in the natural-element method // Intern. J. Num. Methods in Eng. — 2004. — Vol. 60, P. 861–890.

1.64. Никитин А.А., Дучков А.А., Сердюков А.С. Параллельные Sweeping алгоритмы решения уравнения эйконала для задач сейсморазведки

Уравнение эйконала

$$|\nabla t(\mathbf{x})| = \frac{1}{v(\mathbf{x})}, \quad \text{где } \mathbf{x} \in R^n$$

применяется в задачах сейсморазведки для вычисления времен первых вступлений $t(\mathbf{x})$ сейсмических волн по заданной скоростной модели $v(\mathbf{x})$. Оно используется и в других областях науки (оптимальное управление, компьютерное зрение, геометрическая оптика, робототехника и др.). В сейсморазведке, ввиду большого объема обрабатываемых данных, актуальной является задача разработки высокоэффективных параллельных алгоритмов решения данного уравнения.

В докладе представлен подробный анализ производительности и оптимизаций различных параллельных реализаций Fast Sweeping [1] и Locking Sweeping [2] итерационных методов решения уравнения эйконала в трехмерной области для систем с общей памятью, включая реализацию DFSM [3] и разработанные авторами эффективные реализации BFSM и BLSM. Также проводится сравнительный анализ производительности и точности решения параллельных Sweeping методов при различных значениях критерия останова и популярного неитерационного Fast Marching [4] метода решения уравнения эйконала на примере задач сейсморазведки.

Работа выполнена при поддержке Президента РФ (стипендия для молодых ученых и аспирантов № СП-2899.2015.5).

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

Список литературы

- [1] ZHAO H. A fast sweeping method for eikonal equations // Math. of Comp. — 2005. — Vol. 74, N 250, P. 603–627.
- [2] BAK S., MCLAUGHLIN J., RENZI D. Some improvements for the fast sweeping method // SIAM J. Sci. Comp. — 2010. — Vol. 32, N 5, P. 2853–2874.

[3] DETRIXHE M., GIBOU F., MIN C. A parallel fast sweeping method for the Eikonal equation // J. Comp. Phys. — 2013. — Vol. 237, P. 46–55.

[4] SETHIAN J. A. A fast marching level set method for monotonically advancing fronts // Proc. National Acad. of Sci. — 1996. — Vol. 93, N 4, P. 1591–1595.

1.65. Новиков М.А. Численное моделирование волновых полей в средах с мезомасштабными неоднородностями, заполненными пороупругим материалом

При прохождении сейсмической волны через среду, содержащую систему трещин, заполненных высокопористым материалом, при наличии в трещинах флюида возникают потоки флюидов, индуцированные этой волной [1]. Один из возможных механизмов их образования — возникновение локального перепада давления при прохождении волны, который и вызывает переток флюида в области с пониженным давлением, что приводит к диссипации сейсмической энергии. В настоящее время исследования подобного рода эффектов проводятся либо исключительно на теоретическом уровне и требуют верификации, либо подкрепляются численными экспериментами в квазистатической постановке. Однако, в последнем случае нет анализа волнового процесса, взаимодействия волн с флюидонасыщенными трещинами, игнорируются эффекты дифракции и рассеяния на системе трещин.

Целью работы является разработка численного алгоритма моделирования волновых процессов в средах со скоплениями флюидонасыщенных неоднородностей, заполненных пористым материалом, и исследование затухания волн при прохождении через трещиноватую среду.

В ходе работы был проведен сравнительный анализ двух моделей, учитывающих эффекты, связанные с прохождением сейсмических волн в пористой флюидонасыщенной среде, классической модели Био и термодинамически согласованной модели пороупругой среды. Было показано, что вторая модель некорректно описывает поведение решения на низких временных частотах.

Для численного моделирования волновых процессов в пороупругой флюидонасыщенной среде с неоднородностями была построена и реализована конечно-разностная схема второго порядка по времени и пространству, аппроксимирующая динамическую систему уравнений Био. Был проведен ряд расчетов в сейсмоакустическом диапазоне частот. По полученным полям скоростей и напряжений в упругом скелете и скоростей и давления в флюиде были построены фазовая скорость продольной волны и ее затухание в зависимости от частоты.

Список литературы

- [1] MULLER T. M., GUREVICH B., LEBEDEV M. Seismic wave attenuation and dispersion resulting from wave-induced flow in porous rocks — A review // Geophysics. — 2010. — Vol. 75, N 5, P. 147–164.

1.66. Новиков Н.С. Решение одной двумерной обратной задачи для уравнения акустики на основе метода Гельфанда — Левитана — Крейна

В работе рассматривается обратная задача для уравнения акустики в случае двух пространственных переменных. Задача заключается в определении функций $\rho(x, y)$ и $u(x, y, t)$, удовлетворяющих следующим соотношениям:

$$\begin{aligned} u_{tt} &= \Delta u - \nabla \ln \rho \nabla u, \quad x > 0, y \in \mathbb{R}, t > 0; \\ u|_{t=0} &\equiv 0; \\ u_x(+0, y, t) &= g(y, t); \\ u|_{x=0} &= f(y, t), y \in \mathbb{R}, t > 0. \end{aligned}$$

Данные соотношения описывают распространение акустических волн в среде, в предположении что скорость среды известна. Здесь $\rho(x, y)$ — плотность среды; $u(x, y, t)$ — акустическое давление; $f(y, t)$ — данные обратной задачи.

Для её решения мы используем метод Гельфанда — Левитана — Крейна. Суть метода заключается в сведении нелинейной обратной задачи к однопараметрическому семейству линейных интегральных уравнений Фредгольма второго рода с ядром типа свёртки. Кроме того, метод Гельфанда — Левитана — Крейна является прямым методом (нет необходимости неоднократного решения прямой задачи) и не использует априорную информацию.

В ходе численных экспериментов мы заменяем интегральное уравнение линейной системой и используем для её решения метод, опирающийся на теплицеву структуру матрицы. Был использован метод, основанный на рекурсии Левинсона, имеющий сложность $O(n^2)$. Будет показано, что использование данного подхода позволяет получить решение обратной задачи на интервале $x \in [0, L]$, решая уравнение Гельфанда — Левитана — Крейна только в одной точке $x = L$. Будут представлены результаты численных экспериментов.

1.67. Орлов С.С. О моделировании распространения нелинейных тепловых волн

Рассматривается нелинейная математическая модель описания процессов распространения тепла, а также протекающих в пористых средах процессов фильтрации. Основной целью настоящего исследования является описание распространения тепловых волн (волн фильтрации), имеющих конечную скорость. Указанная модель основывается на нелинейном параболическом уравнении в частных производных

$$T_t = \operatorname{div}(k(T)\nabla T), \quad k(T) = T^\sigma, \quad (1)$$

где $T \triangleq T(t, \mathbf{x}): D \rightarrow \mathbb{R}$, $D \subset \mathbb{R}^{\geq 0} \times \mathbb{R}^3$, $\sigma > 0$, известным в литературе как уравнение нелинейной теплопроводности (нелинейной фильтрации, porous

medium) [1, 2]. Функция T , зависящая от времени t и вектора пространственных координат \mathbf{x} , может быть интерпретирована как температура либо как плотность вещества (жидкости или газа) в зависимости от рассматриваемой задачи.

Наличие пространственных симметрий (плоской, осевой или сферической) позволяет перейти от (1) к одномерному уравнению

$$u_t = uu_{\rho\rho} + \frac{u_\rho^2}{\sigma} + \frac{\nu uu_\rho}{\rho}. \quad (2)$$

Здесь u — новая искомая функция, зависящая от времени t и скалярной переменной $\rho \triangleq \|\mathbf{x}\|_\nu$, параметр $\nu \in \{0, 1, 2\}$.

В работе [3] были получены классы нетривиальных точных решений типа тепловой волны (волны фильтрации) уравнения (2), удовлетворяющие краевому условию $u|_{\rho=f(t)} = 0$, где $\rho = f(t)$ — некоторая функция, заданная в плоскости (t, ρ) . В настоящей работе приводятся: результаты качественного исследования построенных решений; модели поведения соответствующих тепловых волн (волн фильтрации) с течением времени; обоснования полученных результатов с физической точки зрения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 16-01-00608, 16-31-00291).

Список литературы

- [1] VASQUEZ J. L. The Porous Medium Equation / Oxford: Clarendon Press, 2007. — 648 p.
- [2] Сидоров А. Ф. Избранные труды: Математика. Механика / М.: Физматлит, 2001. — 576 с.
- [3] КАЗАКОВ А. Л., ОРЛОВ Св. С. О некоторых точных решениях нелинейного уравнения теплопроводности // Тр. ИММ УрО РАН. — 2016. — Т. 18, № 1, С. 102–113.

1.68. Палагина А.А. Численное исследование поверхностных волн, возникающих при подводном оползне, с использованием модели потенциальных течений жидкости

Ранее для численного моделирования поверхностных волн, генерируемых подводным оползнем, использовались гидродинамические модели мелкой воды. В настоящей работе применяется более точная модель потенциальных течений [1], учитывающая вертикальные перемещения воды, при этом для описания движения оползня по неровному подводному склону использованы уравнения, полученные в работе [2]. Описываются конечно-разностный алгоритм расчета на подвижных сетках и особенности построения сеток в мелководной части акватории, приводятся новые аппроксимации неотражающих краевых условий.

На реальном рельефе, представляющем собой континентальный склон акватории Черного моря, исследовано влияние неровностей дна на формирование поверхностных волн. Акватория Черного мо-

ря отличается достаточно высокой сейсмической активностью и подвержена потенциальной опасности возникновения волн цунами, вызванных сходом подводных оползней. Поэтому вероятность таких событий должна учитываться при оценке рисков для густонаселенного черноморского побережья, а также для морских трубопроводов, предназначенных для транспортировки нефти и газа.

Выявлены особенности волновых полей в зависимости от начального заглубления оползня, его размеров (длина и ширина) и от коэффициента трения. Проведены сравнения максимальных заплесков при движении оползня по реальному дну и модельному. Рассмотрены волновые режимы, возникающие при движении оползня по континентальному склону, имеющему участки с различной кривизной и выявлены особенности его перемещения.

Исследование выполнено при поддержке РНФ (грант № 14-17-00219).

Список литературы

- [1] ХАКИМЗЯНОВ Г. С., ШОКИН Ю. И., БАРАХНИН В. Б., ШОКИНА Н. Ю. Численное моделирование течений жидкости с поверхностными волнами / Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001.
- [2] BEISEL S. A., CHUBAROV L. B., DUTYKH D. ET AL. Simulation of surface waves generated by an underwater landslide in a bounded reservoir // Russ. J. Numer. Anal. Math. Model. — 2012. — Vol. 27, N 6, P. 539–558.

1.69. Паровик Р.И. Численные алгоритмы решения задач эредитарной нелинейной динамики

В работе предложены конечно-разностные схемы для поиска численного решения модельных уравнений нелинейных эредитарных осцилляторов [1, 2]. С помощью компьютерных экспериментов, в зависимости от значений управляющих параметров, был проведен анализ предложенных конечно-разностных схем. С помощью численных алгоритмов были построены и исследованы осциллограммы и фазовые траектории некоторых нелинейных эредитарных осцилляторов (Дуффинга [3], Ван дер Поля [4]), которые можно описать нелинейным уравнением в дробных производных:

$$\partial_{0t}^{\beta(x(\tau), \tau)} x(\tau) + \lambda(x(t), t) \partial_{0t}^{\gamma(x(\tau), \tau)} = F(x(t), t), \quad (1)$$

где

$$\partial_{0t}^{\beta(x(\tau), \tau)} x(\tau) = \int_0^t \frac{\ddot{x}(\tau) d\tau}{\Gamma(2-\beta(x(\tau), \tau))(t-\tau)^{\beta(x(\tau), \tau)-1}},$$

$$\partial_{0t}^{\gamma(x(\tau), \tau)} x(\tau) = \int_0^t \frac{\dot{x}(\tau) d\tau}{\Gamma(1-\gamma(x(\tau), \tau))(t-\tau)^{\gamma(x(\tau), \tau)}}$$

— операторы дробного дифференцирования порядков: $1 < \beta(x(t), t) < 2$, $0 < \gamma(x(t), t) < 1$; функция $\lambda(x(t), t)$ характеризует вязкое трение; $F(x(t), t)$ —

некоторая нелинейная функция, которая определяет тип осциллятора; $x(t)$ — функция смещения; $t \in [0, T]$ — время колебательного процесса; $T > 0$ — время моделирования. Для уравнения (1) справедливы следующие начальные условия:

$$x(0) = x_0, \quad y(0) = y_0. \quad (2)$$

Далее в работе с помощью конечно-разностных схем ищется и исследуется решение задачи Коши (1)–(2).

Список литературы

- [1] LEITMAN M. J., MIZEL V. J. Hereditary Laws and Nonlinear integral Equations on the Line // Adv. in Math. — 1976. — Vol. 22, P. 220–266.
- [2] PETRAS I. Fractional-Order Nonlinear Systems: Modeling, Analysis and Simulation / N.Y.: Springer, 2011. — 218 p.
- [3] ПАРОВИК Р. И. Математическое моделирование не-локальной колебательной системы Дуффинга с фрактальным трением // Вест. КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. — 2015. — Т. 10, № 1, С. 18–24
- [4] ПАРОВИК Р. И. Математическое модель фрактального осциллятора Ван-дер-Поля // Докл. АМАН. — 2015. — Т. 17, № 2, С. 57–62

1.70. Патрушев И.И. Исследование аппроксимации решения задач упругости при использовании различных типов конечных элементов

Целью данной работы является исследование различных типов конечных элементов для построения аппроксимации решения задач упругости [1]. Аппроксимация решения краевой задачи в методе конечных элементов определяется выбором формы конечных элементов и базисных функций и разбиением расчётной области на ячейки конечноэлементной сетки. Данная работа посвящена выбору наилучшей комбинации порядков функций, используемых для описания формы элемента, и базиса подпространства, в котором строится конечноэлементная аппроксимация решения задачи.

Сравнение аппроксимаций проводилось на задаче расчёта касательного напряжения на поверхности цилиндрического отверстия в упругой однородной пластине. Эта задача имеет точное аналитическое решение [2], и полученные конечноэлементные решения сравнивались с ним.

В работе исследуются иерархические базисы до третьего порядка и лагранжевы базисы для описания формы элемента до второго порядка включительно. Поскольку математическая постановка задачи подразумевает расчёт не напряжений, а смещений частиц материала, которые связаны с напряжениями через соответствующие частные производные и матрицу преобразования, то для получения значений напряжений необходимо вычислить производные конечноэлементного решения. Ввиду этого исследуется построение согласованного результата [3] для всех рассматриваемых типов элементов, в

котором сглаженная конечноэлементная производная представляется в том же базисе, что и конечно-элементное решение.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение № 14.574.21.0118).

Научный руководитель — д.т.н., профессор Персова М. Г.

Список литературы

- [1] SOLOVEICHNIK Y. G., PERSOVA M. G., VAGIN D. V. ET AL. 3D modeling of thermo-mechanical behavior of composite-made nose caps of hypersonic vehicles // Appl. Thermal Eng. — 2016. — Vol. 99, P. 1152–1164.
- [2] LEKNITSKIY S. G. Theory of Elasticity of an Anisotropic Elastic Body / S. F.: Holden-Day, 1963.
- [3] СОЛОВЕЙЧИК Ю. Г., РОЯК М. Э., ПЕРСОВА М. Г. Метод конечных элементов для скалярных и векторных задач / Новосибирск: НГТУ, 2007. — 869 с.

1.71. Погодаев Н. И. Вычислительная технология решения задачи оптимального управления уравнением неразрывности

Рассмотрим сплошную среду, эволюция которой описывается уравнением неразрывности

$$\partial_t \rho + \operatorname{div}(\mathbf{v}(t, x, u(t)) \rho) = 0, \quad (1)$$

где $u = u(t)$ играет роль управления.

Зафиксируем целевое множество A и поставим следующую задачу: среди всех допустимых управлений

$$u(t) \in U, \quad t \in [0, T],$$

найти то, которое доставляет максимум функции

$$\int_A \rho(T, x) dx.$$

Иными словами, необходимо выбрать управление так, чтобы к моменту времени T масса вещества, находящегося в A , была максимальной.

Отметим, что к описанной выше задаче сводится ряд проблем, возникающих при решении задач управления пучками заряженных частиц [1], динамическими системами с неопределенными параметрами [2] и ансамблями траекторий [3].

В докладе будет представлен численный метод решения данной задачи, основанный на схеме метода игольчатой линеаризации [4] применительно к варианту принципа максимума, полученному в [5]. Особенность метода заключается в том, что для его реализации достаточно отслеживать эволюцию системы только на границе трубки, которая возникает при движении множества A вдоль векторного поля \mathbf{v} в обратном времени, что позволяет существенно сократить объем вычислений.

Список литературы

- [1] Овсянников Д. А. Моделирование и оптимизация динамики пучков заряженных частиц / Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1990. — 312 с.

- [2] WANG Q., STENGEL R. F. Probabilistic Control of Nonlinear Uncertain Systems // «Probabilistic and Randomized Methods for Design under Uncertainty». — Springer, 2006. — P. 381–414.
- [3] LI J., KHANEJA N. Ensemble control of linear systems // Proc. 46th IEEE Conf. Decision and Control. — 2007. — P. 12–14.
- [4] СРЮЧКО В. А. Итерационные методы решения задач оптимального управления / М.: Физматлит, 2000. — С. 160.
- [5] ПОГОДАЕВ Н. Optimal control of continuity equations // Nonlinear Differ. Equ. Appl. — 2016. — Vol. 23, P. 1–21.

1.72. Полищук С. Ю. Математическое моделирование процесса теплопереноса с фазовым переходом на базе многомасштабного разрывного метода Галёркина

Процессы плавления и затвердевания наблюдаются повсеместно, как в природных, так и в технологических ситуациях. Как правило, задачи с фазовым переходом характеризуются следующими особенностями: разномасштабными геометрическими и физическими параметрами, движущимися границами, нелинейностью, а также разрывностью решения на границе раздела фаз. Таким образом, для решения данного класса задач возникает необходимость разработки специального математического аппарата, который позволял бы получить физически релевантное решение при минимальных затратах вычислительных ресурсов. Математические модели процессов с фазовым переходом описываются моделью Стефана [1].

В настоящей работе для решения задачи Стефана предлагается вычислительная схема на базе многомасштабного разрывного метода Галёркина на симплицальном разбиении с использованием базисных функций первого и второго порядков. Данная постановка основана на декомпозиции пространства решений на сумму трёх подпространств: макроуровень, отвечающий за глобальное поведение решения, мезоуровень, позволяющий достаточно точно учесть свойства включений, и микроуровень, учитывающий движение границы раздела фаз.

Верификация производится на классе модельных задач, имеющих аналитическое решение, и на классе задач, приближенных к реальным. Представляются результаты исследований как в слоистых структурах, так и в физически неоднородных областях с различными типами включений.

Научный руководитель — к.т.н., Иткина Н. Б.

Список литературы

- [1] STEFAN J. Über die theorie der eisbildung, insbesondere über die eis bildung im polarmeere // Annalen der Physik und Chemie. — 1891. — Vol. 278, N 2, P. 268–286.

1.73. Полушина М.Е. Математическое моделирование процессов розжига огневого забоя и газообразования в подземном газификаторе

Глубокая переработка угля — одна из самых сложных, но в тоже время одна из наиболее актуальных задач горно-энергетической отрасли экономики страны. Решение данной задачи позволит улучшить экономические показатели топливно-энергетического комплекса. Одним из возможных решений данной проблемы может быть подземная газификация углей. Подземная газификация углей (далее — ПГУ) — это физико-химический процесс превращения угля в горючие газы с помощью свободного или связанного кислорода непосредственно в недрах земли. По сравнению с традиционными способами добычи угля (карьерный и шахтный способы) ПГУ причиняет гораздо меньший ущерб окружающей среде, так как зола и порода остаются под землей при отработке углей. Технологию ПГУ можно проводить даже в тех местах, где добыча угля традиционными способами является не рентабельной. Следует также отметить эффективность технологии ПГУ и в социальной сфере, а именно травмобезопасность данного метода добыча угля и ликвидация возможности гибели шахтеров. Одним из преимуществ данной технологии является существенное уменьшение транспортной составляющей в цене конечного продукта. На сегодняшний день ПГУ является конкурентоспособной технологией. Получаемый синтетический газ может быть использован в качестве сырья для производства химикатов, жидких топлив, а также для выработки электроэнергии. Идея ПГУ принадлежит Д.И. Менделееву, а первый в мире проект ПГУ был разработан в 1928 г. в СССР. В XXI веке вновь произошел всплеск интереса к ПГУ, однако преимущественно за рубежом, а именно в США, Индии, Узбекистане, Австралии и Китае [1], где в настоящее время ведутся экспериментальные и промышленные работы для внедрения ПГУ. Но теоретических обоснований технологии ПГУ в настоящее время недостаточно в литературе. Базовый процесс ПГУ состоит из бурения двух эксплуатационных скважин, первая из которых служит для закачки кислорода в угольный пласт, вторая — для выведения горючего газа на поверхность. Одним из важных этапов в технологии ПГУ является розжиг огневого забоя (горящей части угольного пласта). В нашем докладе будут представлены результаты численного моделирования процессов газообразования при подземной газификации по методу потока и верификация предложенной в работе [2] двумерной нестационарной сопряженной математической модели работы подземного газификатора по методу потока. Данная математическая модель построена на основе законов сохранения и основных известных физи-

ческих и химических процессах, происходящих при ПГУ. Основное внимание уделено сравнению полученного в численных расчетах состава газа на выходе из газосборочной скважины с результатами натурных измерений состава газа. Данное исследование основывается на материалах работы Ю.Н. Захарова, Е.Е. Зеленского, Ю.И. Шокина [2]. Отметим, что в работе [2] как таковой процесс розжига отсутствует. Впервые в нашем докладе будет представлен численный алгоритм поджига огневого забоя и результаты проведенных тестовых расчетов.

Список литературы

- [1] КРЕЙНИН Е. В. Нетрадиционные термические технологии добычи трудноизвлекаемых топлив: уголь, углеводородное сырьё / М.: ООО НРЦ Газпром, 2004. — 301 с.
- [2] ZAKHAROV YU. N., ZELENSKII E. E., SHOKIN YU. I. A model of an underground gas problem // RJNAMM. — 2013. — Vol. 28, N 3, P. 301-317.

1.74. Полякова А.П. Численное решение задачи двумерной векторной томографии методом приближенного обращения

Пусть в единичном круге распределено векторное поле. Требуется восстановить это поле по известным значениям продольного и (или) поперечного лучевых преобразований. Для численного решения поставленной задачи предлагается использовать подход, основанный на методе приближенного обращения, который хорошо себя зарекомендовал при решении задач скалярной томографии [1].

Идея метода приближенного обращения для восстановления двумерного скалярного поля состоит в следующем. Пусть требуется найти решение (функцию f) операторного уравнения $Af = g$, для линейного ограниченного оператора

$$A : H \rightarrow K,$$

где H и K — Гильбертовы пространства. Для этого используются усредняющие функции e_x , обладающие свойствами:

$$\int_{\mathbb{R}^2} e_x(y) dy = 1, \quad \langle f, e_x \rangle_H \approx f(x).$$

Пусть A^* — двойственный оператор для A . Если функции e_x лежат в пространстве образов оператора A^* , тогда существуют функции ψ_x такие, что $A^*\psi_x = e_x$. Тогда имеем

$$f(x) \approx \langle f, e_x \rangle_H = \langle f, A^*\psi_x \rangle_H = \langle Af, \psi_x \rangle_K = \langle g, \psi_x \rangle_K.$$

Таким образом, приближенное решение строится путем скалярного произведения исходных данных g и функций ψ_x , которые могут быть найдены до получения томографических данных.

В данной работе предлагаются два алгоритма приближенного обращения операторов продольного и

поперечного лучевых преобразований векторных полей. Первый алгоритм позволяет восстанавливать компоненты векторного поля. В то время как используя второй алгоритм можно восстановить потенциалы потенциальной и соленоидальной частей векторного поля. Алгоритмы программно реализованы, приводятся результаты экспериментов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы Президиума РАН (грант № 0314-2015-0010).

Список литературы

- [1] RIEDER A., SCHUSTER T. The Approximate Inverse in Action with an Application to Computerized Tomography // SIAM J. Numer. Anal. — 2000. — Vol. 37, N 6, P. 1909–1929.

1.75. Прокофьева А.Э. Модификация дискретного фильтра Калмана при негауссовских шумах измерений

Традиционно фильтр Калмана применяется в качестве эффективного алгоритма оптимальной фильтрации для гауссовских моделей, однако встречаются ситуации, когда шум измерений является негауссовским и применение фильтра Калмана для оценивания вектора состояний может давать смещенные оценки и даже некорректный результат.

В данной работе рассмотрена следующая стохастическая линейная дискретная модель в пространстве состояний:

$$x(k+1) = \Phi x(k) + \Psi u(k) + \Gamma w(k), \quad (1)$$

$$y(k+1) = Hx(k+1) + v(k+1), \quad k = \overline{0, N-1}, \quad (2)$$

с гауссовским шумом системы $w(k)$ и негауссовским шумом измерений $v(k+1)$.

Работа посвящена исследованию применения модифицированного фильтра Калмана, учитывающего отклонение распределения ошибок измерений от нормального закона [1]. Идея модификации основывается на применении теоремы Винера [2] и заключается в аппроксимации плотности распределения шума измерений суммой конечного числа гауссовских плотностей с соответствующими параметрами. Для математической модели (1), (2) программно реализованы алгоритмы фильтра Калмана и модификации фильтра Калмана. На примере линейных дискретных моделей с различными законами распределения ошибок измерений найдены оценки вектора состояния системы с помощью фильтра Калмана и его модификации, проведен сравнительный анализ полученных результатов.

Научный руководитель — к.т.н., доцент Черникова О. С.

Список литературы

- [1] PLATANIOTIS K. N., ANDROUTSOS D., VENETSANOPOULOS A. N. Nonlinear Filtering of Non-Gaussian Noise // J. Intel. and Robotic Syst. — 1997. — Vol. 19, P. 207–231.
[2] BRIAN D., ANDERSON O. Optimal filtering / N.J.: Prent.-Hall Inc. Englewood Cliffs, 1979. — 367 p.

1.76. Разматова А.Ю., Тарасов Д.А., Черепанова О.С., Сергеев А.П. Прогнозирование распределения хрома и меди в почве г. Тарко-Сале при помощи гибридной модели на основе искусственных нейронных сетей и кригинга

Реализация экологической политики в системах поддержки принятия управленческих решений предполагает наличие достоверной информации о пространственных распределениях загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды, в частности, в почве. Для построения подробных карт загрязнения используют модели [1]. Особую сложность представляет моделирование аномально распределенных поллютантов. В данной работе для прогнозирования распределения загрязняющих веществ на анализируемой площадке предлагается гибридная модель. В исследовании сравнивалось несколько подходов к моделированию распределения концентраций химических элементов в поверхностном слое почвы: метод обратных взвешенных расстояний (ОВР), геостатистические методы (кригинг), искусственные нейронные сети (ИНС), а также предложена модель, комбинирующая ИНС и кригинг [2]. Исходными данными для моделирования являлись результаты скрининга почвы г. Тарко-Сале, ЯНАО [3]. Для сравнения было проведено моделирование относительно равномерно распределенной меди и аномально распределенного хрома (концентрации хрома в «пятнах» более чем в 10 раз выше, чем на остальной части полигона). Сравнение методов показало превосходство ИНС при моделировании для обоих элементов. Было обнаружено, что применение гибридного метода ИНС-кригинг дает увеличение точности прогнозирования распределения концентрации в поверхностном слое почвы для хрома (около 1 % по отношению к ИНС, 42 % — к кригингу и 70 % — к ОВР), и меди (7 % по отношению к ИНС, 11 % — к кригингу и 9 % — к ОВР). Метод ОВР показал более высокую точность предсказания для меди, превысив геостатистический метод. Тем не менее, модель кригинга для хрома показала более низкую ошибку, чем ОВР, что, вероятно, связано с наличием упомянутых «пятен». Оценка невязок ИНС кригингом позволила сгладить высокие и низкие значения концентраций хрома и меди в почве, что повысило точность прогноза. Таким образом, предложенная гибридная модель ИНС-кригинг показала преимущества по сравнению с традиционными методами прогнозирования.

Список литературы

- [1] POPOVIC Z. Mathematical models in economic and ecological control // Facta Univ.; Econ. and Organiz. — 2008. — Vol. 5, P. 251–262.
[2] SERGEEV A. P., BUEVICH A. G., MEDVEDEV A. ET AL. Artificial neural network and kriging interpolation for the chemical elements contents in the surface layer of soil on a background area // Proc. 15th Intern.

Multidis. Sci. GeoConf. SGEM. — 2015. — Book 3, Vol. 2, P. 49–56

- [3] SERGEEV A. P., BAGLAEVA E. M., SHICHKIN A. V. Case of soil surface chromium anomaly of a northern urban territory — preliminary results // Atmos. Poll. Res. — 2010. — Vol. 1, P. 44–49.

1.77. Решетова А.И., Кириловский С.В., Поплавская Т.В. Численное моделирование развития возмущений в течении смеси колебательно возбужденных газов на пластине

В работе рассматривается численное моделирование задачи развития возмущений в вязком ударном слое на плоской пластине, обтекаемой гиперзвуковым колебательно возбужденным потоком смеси углекислого газа и азота. Условия обтекания пластины соответствуют экспериментам, проводимым в импульсной аэродинамической трубе ИТ-302М в ИТПМ СО РАН при температуре торможения $T_0 = 2000 \div 3000$ К, единичном числе Рейнольдса $Re_1 = 8 \div 13 \times 10^5$ м⁻¹, угле атаки $\alpha = 0 \div 20^\circ$ и концентрации CO_2 в смеси от 0.22 до 0.88 (в мольных долях). Численное моделирование проводилось на базе решения двумерных нестационарных уравнений Навье — Стокса в рамках модели термически совершенного газа с помощью пакета ANSYS Fluent. Для учета неравновесности колебательных степеней свободы молекул в работе используется двухтемпературная модель релаксационных течений, где изменение колебательной энергии от времени моделируется уравнением Ландау — Теллера. Расчеты неравновесного течения смеси углекислого газа и азота на пластине проведены с учетом двух каналов колебательной релаксации молекул CO_2 (при столкновениях молекул CO_2 между собой и при взаимодействии их с молекулами N_2). Для моделирования колебательной релаксации к уравнениям Навье — Стокса добавлялись уравнения сохранения колебательной энергии для каждой колебательной степени свободы молекул CO_2 . Учёт энергообмена между колебательными и поступательно-вращательными степенями свободы с конечным временем релаксации производился добавлением источниковых членов, рассчитываемых по уравнению Ландау — Теллера в созданном программном модуле, встраиваемом в пакет. Также с помощью отдельно написанного модуля осуществлялся ввод в расчётную область акустических возмущений, задаваемых как суперпозиция стационарного течения и плоских монохроматических акустических волн.

В работе получены данные по динамике развития акустических возмущений в колебательно возбужденном течении смеси газов на пластине и проведено сравнение с имеющимися экспериментальными результатами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-08-00674).

1.78. Рыбков М.В., Литвинов П.С. Алгоритм интегрирования на основе методов с согласованными областями устойчивости

При численном решении задачи Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений все чаще применяют явные методы [1]. Они не нуждаются в вычислении матрицы Якоби и, если жесткость задачи не слишком велика, будут предпочтительнее L -устойчивых. Кроме того, они легко распараллеливаются. Одним из серьезных ограничений явных методов являются слишком малые области устойчивости известных численных схем.

В настоящий момент имеется ряд работ, посвященных вопросам построения явных методов с расширенными областями устойчивости. В [2] предложен алгоритм определения коэффициентов полиномов устойчивости, при которых метод имеет заданную форму и размер области устойчивости. Построенные многочлены применяются для повышения эффективности известных методов типа Рунге — Кутты и для построения алгоритмов интегрирования с расширенными областями устойчивости. Тем не менее, в построенных в [1] методах не рассмотрен вопрос о согласовании основной численной схемы с промежуточными, т.к. часть коэффициентов метода выбираются произвольно и, в частности, авторы ограничились замечанием, что они должны быть достаточно малы. Это не позволяет максимально эффективно использовать такие методы.

В данной работе на основе алгоритма, описанного в [2], получены коэффициенты многочленов устойчивости до степени $m = 27$, соответствующие методам первого порядка точности с максимальным интервалом устойчивости. Предложен выбор коэффициентов метода Рунге — Кутты таким образом, чтобы промежуточные численные схемы метода были согласованы с основной. Построены методы первого порядка с согласованными областями устойчивости и приведены результаты расчетов. Разработанные наборы методов первого порядка с контролем точности и устойчивости могут быть применены в алгоритмах интегрирования с переменным шагом, порядком и переменным числом стадий. 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 № 14-01-00047).

Список литературы

- [1] Новиков Е. А. Явные методы для жестких систем: монография / Новосибирск: Наука, 1997. — 195 с.
[2] Novikov E. A., Rybkov M. V. Application of Explicit Methods with Extended Stability Regions for Solving Stiff Problems // J. SFU. Math. & Phys. — 2016. — Vol. 9, N 2, P. 209–219.

1.79. Саенко А.В., Палий А.В., Бесполудин В.В.
Оптимизация планарной структуры
перовскитовых солнечных элементов

Данная работа посвящена проблеме исследования, разработки и оптимизации высокоэффективных перовскитовых солнечных элементов с планарной $n-i-p$ структурой. Главными преимуществами использования перовскитов типа йодид метиламмоний свинца ($\text{CH}_3\text{CN}_3\text{PbI}_3$) являются отсутствие энергоемких и сложных технологических процессов при нанесении на различные подложки (температура кристаллизации $100-150^\circ\text{C}$), а также свойственная им запрещенная зона (1.5–2.3 эВ) с прямыми переходами, высокая подвижность носителей заряда, относительно большая диффузионная длина и высокий коэффициент поглощения. Толщина поглощающего перовскитового материала является одним из наиболее важных параметров, влияющих на характеристики солнечного элемента. Кроме того, диффузионная длина носителей заряда (качество перовскита) в $n-i-p$ структуре солнечного элемента должна быть достаточно большой для эффективного собирания фотогенерированных носителей заряда. С целью оптимизации толщины поглощающего солнечное излучение перовскитового материала исследовалось влияние его качества (времени жизни и диффузионной длины носителей заряда) на фотоэлектрические характеристики солнечного элемента. В работе предложена численная модель данных солнечных элементов в диффузионно-дрейфовом приближении на основе уравнений непрерывности и уравнения Пуассона для определения их фотоэлектрических характеристик и оптимизации конструкции. Модель учитывает спектральную фотогенерацию (генерация носителей заряда определялась в спектральном диапазоне поглощения перовскита на основе закона Бугера — Ламберта), объемную и поверхностную рекомбинации (модель рекомбинации через ловушки Шокли — Рида — Холла), перенос носителей заряда в перовските и их собирание электронным и дырочным транспортными слоями. При моделировании предполагалось, что фотогенерированные носители заряда в перовските находятся в виде свободных электронов и дырок, а перовскитовый полупроводник является собственным. Фотогенерированные электроны и дырки диффундируют и дрейфуют через перовскитовый поглощающий материал к транспортным слоям n - и p -типа. Моделирование фотоэлектрических характеристик перовскитовых солнечных элементов осуществлялось при коэффициентах диффузии электронов и дырок $0.017\text{ см}^2\text{с}^{-1}$ и $0.011\text{ см}^2\text{с}^{-1}$ соответственно и одинаковом времени жизни в диапазоне 0.05–1.3 мкс, что соответствует диффузионной длине 0.29–1.48 мкм, свойственной для металлоорганических перовскитов. В результате моделирования получены зависимости эффек-

тивности солнечных элементов от толщины поглощающего перовскитового материала и времени жизни (диффузионной длины) носителей заряда. Таким образом, установлено, что оптимальная толщина перовскита в значительной степени определяется временем жизни носителей заряда и имеет верхний предел 500–600 нм. При оптимизированной конструкции перовскитового солнечного элемента (большая диффузионная длина 1–1.5 мкм, оптимальная толщина 500–600 нм) можно получить эффективность 25–27 %, что соответствует уровню лучших кремниевых солнечных элементов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-38-00204).

1.80. Самошкин А.С. Математическая модель деформирования железобетона с учетом контактного взаимодействия структурных компонентов

Работа посвящена развитию математической модели железобетона, комплексно описывающей напряженно-деформированное состояние на различных стадиях нагружения. Эта модель предполагает использование классических критериев пластичности: для арматурной стали — Мизеса, для бетона — Друкера — Прагера. В областях, где деформации достигают предельных для бетона значений, имитируется развитие трещин. Для моделирования контактного взаимодействия арматуры с бетоном вводится особый слой, который позволяет учесть особенности «сцепления» этих двух компонентов железобетона.

Механические характеристики контактного слоя подбираются по результатам испытаний на вытягивание арматуры из бетона. При этом, используется «нормальный закон сцепления» [1] — эмпирическая зависимость взаимных смещений от касательных напряжений в области контакта.

Проведена численная реализация вышеописанной модели методом конечного элемента. Исследования показали, что работу контактного слоя можно описать упруго-пластическим деформированием по критерию Мизеса.

Проведено сравнение численных результатов с экспериментальными данными для следующих задач: вытягивание различной арматуры из бетона [2, 3] преднапряжение бетонного бруса стальным канатом [4], растяжение железобетонного элемента с учетом стадии разрушения.

Научный руководитель — д.т.н Тихомиров В. М.

Список литературы

- [1] Холмянский М.М. Бетон и железобетон. Деформативность и прочность / М.: Стройиздат, 1997. — 264 с.
- [2] Тихомиров В.М., Астахов Ю.В., Самошкин А.С. Моделирование упругопластического сцепления арматуры с бетоном // Изв. вузов. Строительство. — 2015. — № 2, С. 103–109.

- [3] Тихомиров В.М., Астахов Ю.В. Экспериментально-расчетное исследование взаимодействия стальной и базальтопластиковой арматуры с бетоном // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 11, С. 128–137.
- [4] Тихомиров В.М., Астахов Ю.В., Самошкин А.С. Исследование стадии обжатия элемента бетонной конструкции, армированной канатом // Изв. вузов. Строительство. — 2015. — № 6, С. 5–13.

1.81. Сахибназарова В. Математическое моделирование движения космической тросовой системы в нецентральной гравитационном поле Земли

Работа посвящена исследованию влияния учета нецентральной гравитационного поля Земли при математическом моделировании движения космической тросовой системы (КТС) [1]. Исследование влияния учета нецентральной гравитационного поля проводится на основе анализа результатов моделирования движения КТС с параметрами, соответствующими данным реально проведенного в космосе эксперимента YES2. Для построения математической модели используется система обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), описывающих движения центров масс космического аппарата (КА) и спускаемой капсулы (СК), движение относительно центра масс [2], а также работу механизма управления развёртыванием троса. В уравнениях движения как одна из возмущающих сил учитывается гравитационная сила, обусловленная нецентральностью гравитационного поля Земли [3]. Исследовано влияние учета нецентральной гравитационного поля Земли на результаты моделирования движения КТС. Реализованы две версии математической модели движения: с учетом и без учета нецентральной гравитационного поля. Учет нецентральной гравитационного поля Земли влияет на изменения значений параметров моделирования и позволяет повысить точность результатов моделирования.

Список литературы

- [1] Осипов В.Г., Шошуннов Н.Л. Космические тросовые системы: история и перспективы // Земля и Вселенная. — 1998. — № 4, С. 19–29.
- [2] Заболотнов Ю.М., Наумов О.Н. Анализ пространственного вращательного движения концевой тела при развёртывании орбитальной тросовой системы // Управление и навигация летательных аппаратов. — 2012. — С. 104–107.
- [3] Анучин О.Н., Комарова И.Э., Порфирьев Л.Ф. Бортовые системы навигации и ориентации искусственных спутников Земли / СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2004. — 326 с.

1.82. Светов И.Е. Численное решение задачи 2-тензорной томографии с использованием метода приближенного обращения

Под термином «задача двумерной 2-тензорной томографии» в данной работе подразумевается следующая постановка. Пусть ограниченная область плоскости заполнена средой без рефракции. В среде распределено некоторое симметричное 2-тензорное поле. По известным лучевым преобразованиям требуется восстановить это поле.

В данной работе предлагаются два алгоритма решения задачи 2-тензорной томографии, основанные на так называемом методе приближенного обращения, который развивается уже более 20-ти лет А. К. Луисом и его учениками [1–3]. Идея метода приближенного обращения состоит в следующем. Пусть требуется найти решение (функцию f) операторного уравнения $Af = g$ для линейного ограниченного оператора $A : H \rightarrow K$, где H и K — Гильбертовы пространства. Для этого используются усредняющие функции $e_\gamma^y(x)$, обладающие свойствами

$$\int_{\mathbb{R}^n} e_\gamma^y(x) dx = 1, \quad \lim_{\gamma \rightarrow 0} \langle f, e_\gamma^y \rangle_H = f(y).$$

Пусть A^* — сопряженный оператор для A и функции e_γ^y лежат в пространстве образов A^* , тогда существуют функции ψ_γ^y такие, что $A^* \psi_\gamma^y = e_\gamma^y$. Имеем

$$f(y) \approx \langle f, e_\gamma^y \rangle_H = \langle f, A^* \psi_\gamma^y \rangle_H = \langle Af, \psi_\gamma^y \rangle_K = \langle g, \psi_\gamma^y \rangle_K.$$

Таким образом, приближенным решением является скалярное произведение исходных данных g и функций ψ_x .

Первый из предлагаемых алгоритмов позволяет восстанавливать компоненты симметричного 2-тензорного поля. В то время как с использованием второго алгоритма можно восстановить потенциалы потенциальных и соленоидальной частей тензорного поля. Алгоритмы численно реализованы, приводятся результаты экспериментов по восстановлению симметричных 2-тензорных полей.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы Президиума РАН (проект № 0314-2015-0010).

Список литературы

- [1] LOUIS A.K., MAASS P. A mollifier method for linear operator equations of the first kind // Inverse Problems. — 1990. — Vol. 6, P. 427–440.
- [2] LOUIS A.K. Approximate inverse for linear and some nonlinear problems // Inverse Problems. — 1996. — Vol. 12, P. 175–190.
- [3] RIEDER A., SCHUSTER T. The Approximate Inverse in Action with an Application to Computerized Tomography // SIAM J. Num. Anal. — 2000. — Vol. 37, N 6, P. 1909–1929.

1.83. Семисалов Б.В. Методы без насыщения в прикладных задачах математической физики

В докладе обсуждаются аспекты теории приближения гладких функций элементами конечномерных пространств, приведшие к понятиям метода без насыщения и алгоритма без насыщения по К.И. Бабенко [1]. Проводится анализ влияния особенностей функции на точность её приближения в базисе Фурье и базисе, состоящем из полиномов Чебышёва. Рассматриваются аналогии между этими базисами, позволяющие строить новые методы приближения, в том числе, для решения сингулярно-возмущённых краевых задач. Исследуются вопросы, связанные с вычислительной устойчивостью приближений.

Описанные методы приближения используются для построения алгоритмов без насыщения, обладающих экспоненциальной скоростью сходимости при решении нелинейных уравнений эллиптического типа с краевыми условиями Неймана — Дирихле [2]. При этом рассматриваются три прикладные задачи.

1. моделирование переноса заряда в микро- и нанополупроводниковых устройствах на основе гидродинамической МЕР-модели [3];
2. анализ неизотермических течений вязкоупругой полимерной жидкости по каналам 3D-принтера [4];
3. расчёт и оптимизация сетчатых оболочек из углепластика для нужд авиационной и космической промышленности [5].

Для каждой задачи обсуждаются специфика и вычислительные проблемы, а также приводятся характеристики реализованных алгоритмов и численные решения. Результаты получены докладчиком в соавторстве с его руководителями д.ф.-м.н. А. М. Блохиным и д.ф.-м.н. С. К. Голушко и его учениками — студентами Н. Р. Алеевым, Е. А. Кругловой, Г. А. Кузьминым и А. А. Латышевым.

Список литературы

- [1] Бабенко К.И. Основы численного анализа / М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.
- [2] Семисалов Б.В. Нелокальный алгоритм поиска решений уравнения Пуассона и его приложения // Журн. выч. мат. и мат. физ. — 2014. — Т. 59, № 7, С. 1110–1135.
- [3] Блохин А.М., Семисалов Б.В., Ибрагимов А.С. Численный анализ задач переноса заряда в полупроводниковых устройствах / Saarbrücken, Germany: Palmarium Acad. Publ., 2012.
- [4] Блохин А.М., Семисалов Б.В. Стационарное течение несжимаемой вязкоупругой полимерной жидкости в канале с эллиптическим сечением // Сиб. журн. индустр. мат. — 2014. — Т. XVII, № 4(60), С. 38–47.
- [5] Голушко С.К., Семисалов Б.В. Численное моделирование деформирования анизотропных конструкций с применением высокоточных схем без насыщения // Мат. мод. и числ. мет. — 2015. — № 6, С. 23–45.

1.84. Семёнов Е.В. Решение двумерной обратной задачи электроимпедансной томографии глубокими нейронными сетями

В работе рассматривается постановка двумерной прямой задачи электроимпедансной томографии (ЭИТ) в полярной системе координат. Областью решения задачи является круг радиуса R с центром в начале координат. Предполагается, что среда внутри круга является изотропной ($\sigma = const$). В качестве граничных условий была выбрана наиболее успешная для решения подобного рода задач полная электродная модель (СЕМ). В математическом смысле, описанная задача имеет следующий вид:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial u(r, \varphi)}{\partial r} + \frac{\partial^2 u(r, \varphi)}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u(r, \varphi)}{\partial \varphi^2} = 0;$$

$$\left. \frac{\partial u(r, \varphi)}{\partial r} \right|_{r=R} = 0, \quad \varphi \notin [\theta_i - w, \theta_i + w], \quad i = \overline{1, L};$$

$$\left[u(r, \varphi) + z_i \sigma \frac{\partial u(r, \varphi)}{\partial r} \right]_{r=R} = U_i,$$

$$\varphi \in [\theta_i - w, \theta_i + w], \quad \sum_{i=1}^L U_i = 0.$$

Здесь θ_i — середина электрода с номером i ; w — полуширина электрода; z_i — сопротивление соответствующего электрода; U_i — напряжение на соответствующем электроде; $u(r, \varphi)$ — потенциал; L — количество электродов.

Следом за постановкой прямой задачи в работе приводится описание способов её численного решения [1], в результате которого становится известно распределение потенциала u внутри круга. Используя значения потенциала на границе области, для каждого электрода рассчитывается величина инжектируемого тока I_i . Из значений напряжения и тока на каждом электроде формируется вектор $\bar{x} = (\bar{U}, \bar{I})$, который группируется со значением проводимости σ в пару $\{\bar{x}, \sigma\}$. В последствии, с различными заданными значениями напряжения на электродах и проводимости среды, решалась прямая задача. Полученный набор пар объединялся в обучающую выборку для нейронной сети.

Для решения обратной задачи была выбрана многослойная нейронная сеть [2], на вход которой подавался вектор \bar{x} из пары обучающей выборки, а на выходе сети сравнивались полученное число и значение проводимости σ из соответствующей пары $\{\bar{x}, \sigma\}$. Обучение сети проводилось по правилу обратного распространения ошибки.

Работа содержит полученные результаты о точности решения обратной задачи, описание способов подбора параметров нейронной сети, а также исследование их влияния на качество полученного решения [3]. В заключении описан способ решения обратной задачи в круге с неоднородностью.

Работа выполнена по Государственному Заданию Министерства образования и науки РФ (заявка № 5.628.2014/К).

Научный руководитель — д.ф.-м.н., профессор Старченко А. В.

Список литературы

- [1] ДЕМІДЕНКО Е. Analytic solution to homogeneous EIT problem on the 2D disk and its application of electrode contact impedances // *Physiol. Meas.* — 2011. — Vol. 32., P. 1453–1471.
- [2] СЕМЁНОВ Е. В. Использование теории искусственных нейронных сетей для решения обратной задачи // *Матер. I Междунар. науч. конф. студентов и молодых уч. «Молодежь, наука, технологии: идеи и перспективы (МНТ-2014)».* — 2014. — С. 615–616.
- [3] СЕМЁНОВ Е. В. Решение одной обратной задачи с использованием искусственных нейронных сетей // *Матер. VI Всерос. науч.-технич. конф. с междунар. уч. «Робототехника и искусственный интеллект».* — 2014. — С. 153–157.

1.85. Семёнова А. А. Об одной разностной схеме, применяющей сплайн-функции, для решения уравнения переноса примеси в атмосфере

Работа посвящена численной схеме решения системы конвективно-диффузионно-кинетических уравнений математической модели переноса малых составляющих с учетом их химических взаимодействий в атмосферном пограничном слое.

В основе построенной разностной схемы лежит аппроксимация конвективных членов уравнения с помощью весовых сплайн-функций [1]. Применение весовых сплайнов в данной задаче позволяет получать монотонное неотрицательное решение. Высокий порядок точности разностной схемы достигается за счёт разностной аппроксимации конвективного слагаемого формулой, полученной на основе метода MUSCL [2].

Точность и сходимость построенного метода была проверена для одномерного случая на двух тестовых задачах, имеющих известное аналитическое решение. В задаче, решение которой имеет форму «ступеньки», сплайновая схема показала наилучший результат в сравнении с такими методами, как Upwind, MLU, MUSCL, ENO, SuperBee и схема Хартена. В задаче с точечным источником предложенная схема уступила в точности схемам MLU, ENO и MUSCL. Но в этом тесте было выявлено важное преимущество: сплайновая схема показывает наиболее близкое к точному максимальное значение концентрации примеси в заданный момент времени.

Затем была апробирована параллельная версия программы для численного решения уравнений пространственной прогностической модели переноса примеси с учетом химических реакций. Решалась следующая задача: на поверхности Земли в районе города в одной ячейке сетки рассматриваемой области происходит постоянное выделение примеси.

Имеется реальное поле ветра на двое суток, рассчитанное по мезомасштабной модели. В центре области расположен участок, из которого выделяется газообразная примесь. Требуется спрогнозировать изменение концентрации на имеющемся поле ветра на последующие дни. Для решения этой задачи рассматривались три метода аппроксимации конвективных членов уравнений: MLU, MUSCL и предлагаемая сплайн-интерполяция, которая показала максимальное значение концентрации в рассматриваемой области. Этот факт подтверждает высокую точность изучаемого алгоритма.

На основании проведенных расчетов можно заключить, что построенная сплайновая схема имеет преимущество в решении перед уже известными и хорошо себя зарекомендовавшими методами.

Работа выполнена по Государственному Заданию Министерства образования и науки РФ (заявка № 5.628.2014/К).

Научный руководитель — д.ф.-м.н., профессор Старченко А. В.

Список литературы

- [1] КВАСОВ Б. И. Методы изогометрической аппроксимации сплайнами / М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 360 с.
- [2] VAN LEER B. Towards the ultimate conservative difference scheme. Part IV: A new approach to numerical convection // *J. Comput. Phys.* — 1977. — Vol. 23, P. 276–299.

1.86. Сенотрусова С. Д. Численное моделирование динамики сети онкомаркеров p53-микроРНК

Одной из приоритетных задач в современных медико-биологических исследованиях является выявление и прогнозирование исхода онкологических заболеваний. В клинической практике в качестве маркеров злокачественных опухолей и терапевтических мишеней рассматриваются белки p53 и Mdm2, а в последние годы предпринимаются попытки установления аналогичных свойств и для связанных с ними микроРНК (miR). В данной работе представлена математическая модель динамики сети p53—Mdm2—miR, которая включает в себя систему нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка с двумя запаздывающими аргументами.

Численное моделирование осуществлялось в двух постановках: а) через непосредственное решение системы с запаздывающими аргументами с использованием метода шагов; б) с применением технологии предельного перехода от уравнений с запаздыванием к двум взаимосвязанным системам ОДУ большой размерности [1]. Численно исследована сходимость решений, полученных на основе этих двух подходов, и показано, что переход к модели с достаточно большим числом уравнений может приводить к модели с запаздывающими аргументами только при выполнении условия курантовского типа [2].

Выполнено численное исследование изменения концентрации miR при различных состояниях системы белков p53 и Mdm2 при условии нормального функционирования miR (и его связи с p53) и в условиях стресса. Изучена возможность рассмотрения miR в качестве онкомаркера для класса miR, находящихся в прямой функциональной взаимосвязи с белком p53 (пассивных по отношению к сети p53—Mdm2). Получены данные о наличии у таких miR собственных прогностических свойств, не связанных с состоянием p53.

Список литературы

- [1] Лихошвай В. А. и др. Моделирование уравнением с запаздывающим аргументом многостадийного синтеза без ветвления // Сиб. журн. индустр. матем. — 2004. — Т. 7, № 1 (17), С. 73–94.
- [2] Воропаева О. Ф., Козлова А. О., Сенотрусова С. Д. Переход от уравнения с запаздыванием к системе ОДУ в математической модели сети онкомаркеров // Вычисл. технологии. — 2016. — Т. 21, № 2, С. 12–25.

1.87. Сердюков А.С., Дучков А.А. Эффективная реализация метода сейсмической миграции в обратном времени на основе нового параллельного алгоритма моделирования первых вступлений сейсмических волн

Сейсмическая миграция является одним из основных подходов, применяемых при обработке сейсмических данных. Задача состоит в восстановлении положения отражающих границ в гладкой вмещающей «миграционной» модели упругой среды по зарегистрированным на поверхности наблюдения сейсмограммам отраженных волн. Метод миграции в обратном времени (reverse time migration) [1] заключается в вычислении и последующем перемножении (свертке) двух волновых полей: прямого поля от источника и поля, рассчитанного путем решения соответствующих волновых уравнений в обратном времени (т.е. переменная времени t меняет знак $-t$) с начально-краевыми данными (на свободной поверхности) полученными из сейсмограмм. Одной из основных проблем данной методики является вычислительная сложность: для реализации требуется хранить в памяти одно из волновых полей, либо заново производить его расчет во время свертки со вторым волновым полем.

В работе предлагается решение данной проблемы на основе использования параллельной версии алгоритма оконных вычислений волновых полей [2]. Наша идея состоит в сортировке точек области в порядке возрастания времен пробега, рассчитываемых конечно-разностной схемой [3]. Это позволяет во время численного решения уравнений упругости [4] производить вычисления только в полосе, соответствующей первым вступлениям волн. Такой способ позволяет снизить вычислительную сложность ал-

горитма и уменьшить объем требуемой памяти. Помимо последовательной, нами была предложена и параллельная реализация алгоритма.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-05-00862).

Список литературы

- [1] SYMES W. W. Reverse time migration with optimal checkpointing // Geophysics. — 2007. — Vol. 72, N 5, P. SM213–SM221.
- [2] VIDALE J. Finite-difference calculation of travel times // Bull. Seism. Soc. of America. — 1988. — Vol. 78, N 6, P. 2062–2076.
- [3] SETHIAN J. A. A fast marching level set method for monotonically advancing fronts // Proc. National Acad. of Sci. — 1996. — Vol. 93, N 4, P. 1591–1595.
- [4] VIRIEUX J. P-SV wave propagation in heterogeneous media: Velocity-stress finite-difference method // Geophysics. — 1986. — Vol. 51, N 4, P. 889–901.

1.88. Сеченов П.А., Цымбал В.П. Особенности моделирования методом сглаженных частиц в имитационной модели гравитационного сепаратора

В работе рассматривается задача гравитационной сепарации дисперсных частиц [1]. В качестве метода моделирования выбран метод сглаженных частиц. В имитационной модели:

1. рассматриваются силы, действующие на каждую частицу: подъёмная сила, сила тяжести и сила Архимеда;
2. учитывается эффект взаимодействия двух частиц при упругом ударе и вектора их скоростей после удара [2];
3. проверяются граничные условия при ударе частиц о стенки сепаратора и решетки;
4. учитывается замедление потока в зависимости от количества и крупности частиц, находящихся в нём;
5. по высоте реактора рассчитывается плотность в слоях, которая обуславливается количеством частиц, находящихся в слое в текущий момент времени.

В качестве языка программирования был выбран объектно-ориентированный язык программирования ActionScript 3.0. При этом, самой сложной (вычислительной) задачей является задача поиска соседей [3].

В данной работе приведён анализ сопоставления улучшенного алгоритма поиска соседей сложности

$$O(2 \cdot N \cdot k)$$

со стандартным перебором поиска соседей сложности

$$O(N^2),$$

в качестве сопоставления выступает количество отображаемых частиц, передвигающихся в режиме реального времени.

Список литературы

- [1] ЦЫМБАЛ В. П., ПАВЛОВ В. В., СЕЧЕНОВ П. А., ОЛЕННИКОВ А. А. Имитационное моделирование взаимодействия дисперсных частиц в агрегате СЭР и гравитационная сепарация // Черные металлы. — 2016. — № 6(1014), С. 54–60.
- [2] СЕЧЕНОВ П. А., ЦЫМБАЛ В. П., ОЛЕННИКОВ А. А. Имитационная модель разделения составляющих пыли марганцевого производства // Кибернетика и программирование. — 2016. — № 2, С. 34–41.
- [3] ГУСЕВ Д. И. Алгоритм поиска ближайших соседей // Прогр. прод. и сист. — 2012. — № 3, С. 231–234.

1.89. Сидельников О. С., Редюк А. А. Математическое моделирование многомодовых волоконно-оптических линий связи

В настоящее время ежегодный рост трафика уже превышает рост пропускной способности, и, если не будет предложена новая технология, которая позволит значительно увеличить пропускную способность линий связи, в ближайшие годы мы можем столкнуться с проблемой превышения объемами трафика возможностей технологий передачи данных. С недавнего времени разработка систем связи с использованием многомодовых волокон начала рассматриваться в качестве перспективного пути для увеличения пропускной способности оптических сетей за счёт одновременной передачи сигналов в разных модах волокна.

В работе исследуется нелинейное распространение оптических сигналов в многомодовых волокнах в режимах слабой [1] и сильной [2] связи. Целью работы является поиск оптимальной в плане уменьшения коэффициента битовых ошибок (BER) конфигурации системы цифровой связи в зависимости от количества распространяющихся мод и режима связи мод.

Одной из главных проблем для передачи данных на большое расстояние по многомодовым волокнам в режиме слабой связи мод является сложность ММО приемника, который используется для выравнивания связи мод. В работе сравниваются два типа многомодовых волокон, которые могут решить данную проблему: MMF с низким DGD и с компенсированным DGD (состоит из волоконных секций с DGD противоположных знаков). MMF с низким DGD демонстрируют меньший BER, чем волокна с компенсированным DGD, при передаче данных на большие расстояния.

В представленной работе было также проведено сравнение режимов слабой и сильной связи. Было показано, что с ростом числа мод режим сильной связи приводит к меньшему BER, чем режим слабой связи [3]. Было также проведено исследование зависимости BER от дифференциальной групповой задержки (DGD) между модами. Было показано, что коэффициент битовых ошибок уменьшается с ростом DGD.

Работа выполнена при поддержке Президента Российской Федерации (грант № МК-9240.2016.9).

Список литературы

- [1] MUMTAZ S., ESSIAMBRE R., AGRAWAL G. P. Nonlinear Propagation in Multimode and Multicore Fibers: Generalization of the Manakov Equations // J. Lightwave Technol. — 2013. — Vol. 31, P. 398–406.
- [2] MECOZZI A., ANTONELLI C., SHTAIF M. Nonlinear propagation in multi-mode fibers in the strong coupling regime // Opt. Express. — 2012. — Vol. 20, P. 11673–11678.
- [3] SIDELNIKOV O. S., SYGLETOS S., FERREIRA F., FEDORUK M. P. Numerical modelling of multimode fibre-optic communication lines // Quant. Electron. — 2016. — Vol. 46, P. 76–80.

1.90. Скибина Н. П., Савкина Н. В., Фарапонов В. В. Численное определение аэродинамических характеристик цилиндрических тел с разным видом геометрии при сверхзвуковых скоростях

Определение аэродинамических характеристик движущихся в воздухе тел, влияющих на параметры движения, является одной из основных задач аэродинамики. В настоящий момент численное моделирование физических процессов стоит на одной ступени с проведением лабораторных экспериментов. В данной статье исследован численный процесс обтекания цилиндрических тел с различным видом геометрии сверхзвуковым потоком с использованием пакета Ansys Fluent. Рассмотрен установившийся полет тела в 2D осесимметричном и 3D пространственном случаях. Диапазон чисел Маха набегающего потока изменялся от 2 до 4, угол атаки $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 3^\circ$. [1]. Использованные параметры внешней среды соответствовали нормальным условиям. Течение газа было описано системой осредненных уравнений Навье — Стокса. Расчет газодинамических параметров проводился с использованием трех моделей турбулентности: Спаларта-Алмареса, $k - \epsilon$ и SST [2]. Проведен анализ использованных моделей турбулентности, проверка итерационной сходимости расчета и сеточной сходимости по величине коэффициента лобового сопротивления. Исследование было направлено на определение аэродинамических коэффициентов лобового сопротивления и подъемной силы. Были проведены сравнения численных значений с данными, полученными в ходе стрельб на баллистической трассе НИИ ПММ ТГУ, и экспериментов в аэродинамической трубе НИИ «Геодезии». Относительное рассогласование коэффициента лобового сопротивления для 2D осесимметричного случая с экспериментальными данными не превышает 2 %. Анализ результатов расчета для 3D пространственной модели показал, что относительное рассогласование между данными расчета и эксперимента по величине аэродинамического коэффициента лобового сопротивления не превышает 4 %, для коэффициента подъемной силы — 6–7 %.

Список литературы

- [1] Савкина Н. В., Биматов В. И., Христенко Ю. Ф. Расчет обтекания и аэродинамических характеристик конуса на основе решения прямой задачи нелинейной аэробаллистики.
- [2] Снегирев А. Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений. Учеб. пособ. / СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — 143 с.

1.91. Смолехо И. В. Численное моделирование акустических волн в жидком кристалле с использованием технологии CUDA

Упрощенная модель нематического жидкого кристалла как акустической микронеоднородной среды с вращающимися частицами построена в [1], параллельный вычислительный алгоритм для этой модели представлен в [2]. Данная работа посвящена численному решению дифференциальных уравнений второго порядка, полученных из системы уравнений модели с учетом моментных свойств жидкого кристалла.

Система уравнений второго порядка для касательного напряжения q и угловой скорости ω выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} q_{tt} + \frac{2\alpha}{\eta} q_t + 2\alpha\omega_t &= \frac{\alpha}{\rho} \Delta q, \\ \omega_{tt} - \frac{2}{j} q_t &= \frac{\gamma}{j} \Delta \omega, \end{aligned} \quad (1)$$

где ρ — плотность; j — момент инерции; α — модуль упругого сопротивления вращению; η — коэффициент вязкости; Δ — оператор Лапласа; индекс t означает производную по времени.

Система (1) при заданных начальных данных и граничных условиях решается с помощью явной конечно-разностной схемы «крест» второго порядка аппроксимации.

Получено условие устойчивости схемы. Проведено сравнение точного решения с численным решением одномерной задачи о действии касательного напряжения на одной из границ расчетной области.

Разработанный численный алгоритм реализован в виде параллельной программы, написанной на языке Си с применением технологии CUDA, которая позволяет существенно увеличить вычислительную производительность благодаря использованию графических ускорителей. Для демонстрации работы параллельной программы выполнена серия тестовых расчетов на высокопроизводительном вычислительном сервере Flagman ИВМ СО РАН.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-01-00130) и Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН II.2П «Интеграция и развитие» (проект № 0361-2015-0023).

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

Список литературы

- [1] Садовский В. М., Садовская О. В. Об акустическом приближении термомеханической модели жидкого кристалла // Физическая мезомеханика. — 2013. — Т. 16, № 3, С. 55–62.
- [2] Смолехо И. В. Параллельная реализация алгоритма для описания термоупругих волн в жидких кристаллах // Молодой ученый. — 2015. — № 11(91), С. 107–112.

1.92. Снигур В., Рыжков И. И. Исследование разделения околоскритических бинарных смесей в термодиффузионной колонне

Работа посвящена исследованию термодиффузионного разделения бинарных смесей вблизи критической температуры растворимости. Особенность таких систем заключается в возникновении значительных градиентов концентрации под действием небольших градиентов температуры вследствие эффекта Соре.

Явление термодиффузии (эффект Соре) заключается в возникновении потока компонентов смеси под действием градиента температуры [1]. Однако, в большинстве случаев эффект Соре является малым: разность концентраций, возникающая под действием разности температур, не превышает нескольких процентов. В том же время, существуют системы, в которых термодиффузионное разделение может быть весьма существенным (десятки процентов). К ним относятся коллоидные суспензии и бинарные смеси вблизи критических точек кривой фазового равновесия жидкость — жидкость [2]. При приближении к критической точке коэффициент термодиффузии остается постоянным, в то время как коэффициент диффузии стремится к нулю. Отношение этих величин, называемое коэффициентом Соре, при этом неограниченно возрастает. Это приводит к значительному термодиффузионному разделению смеси.

В работе изучено термодиффузионное разделение околоскритической бинарной смеси в термодиффузионной колонне на основе точного решения уравнений движения (для постоянных коэффициентов переноса) и численного решения (для переменных коэффициентов переноса). Расчеты проводились в пакете Ansys Fluent 14.5 (Academic version).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-01-03293).

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

Список литературы

- [1] Рыжков И. И. Термодиффузия в смесях: уравнения, симметрии, решения и их устойчивость / Новосибирск: Издательство СО РАН, 2013. — 200 с.
- [2] VOIT A., KREKHOV A., KÖHLER W. Laser-induced structures in a polymer blend in the vicinity of the phase boundary // Phys. Rev. E. — 2007. — Vol. 76, P. 011808.

1.93. Сорокин К.Э., Перепечко Ю.В. Моделирование влияния примеси на течение дисперсной смеси

В работе рассматривается двухскоростная математическая модель дисперсной смеси вязких сжимаемых жидкостей в присутствии примеси, учитывающая влияние примеси на поверхностную энергию взаимодействия компонент смеси. Моделирование гидродинамики дисперсных смесей является актуальным при решении широкого спектра технологических задач, в том числе касающихся описания процессов извлечения и транспортировки различных видов минерального сырья. Введение в дисперсные системы различных примесей и поверхностно-активных веществ является основной идеей, используемой в промышленности для улучшения динамических свойств смесей и повышения эффективности указанных процессов. В работе [1] была предложена термодинамически согласованная математическая модель течения суспензии твердых частиц с примесью. Применение метода законов сохранения [1] для описания течения жидких смесей обеспечивает непротиворечивость и физическую корректность математической модели. Вычислительная реализация модели базируется на применении метода контрольного объема [2], гарантирующего интегральное сохранение основных величин при дискретизации дифференциальных уравнений, и на использовании модифицированной итерационной процедуры расчета давления IPSA [3].

В докладе приводятся результаты численного моделирования нестационарного течения дисперсной смеси сжимаемых несмешивающихся жидкостей в плоском горизонтальном канале в поле тяжести. Исследовано влияние присутствия примеси, определяющей величину градиента поверхностного натяжения, на гидродинамический режим напорного течения смеси. Также исследована зависимость характера напорного течения от диссипативного эффекта, связанного с динамическим перераспределением примеси между компонентами смеси.

Список литературы

- [1] DOROVSKY V.N. The hydrodynamics of particles suspended in a melt with the self-consistent concentration field of an admixture (Part I) // Computers and Math. with Appl. — 1998. — Vol. 35, N 11, P. 27–37.
- [2] PATANKAR S.V., SPALDING D.B. Calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows // Intern. J. Heat and Mass Transfer. — 1972. — Vol. 15, P. 1787–1806.
- [3] DARWISH M., MOUKALLED B. A unified formulation of the segregated class of algorithms for multifluid flow at all speeds // Num. Heat Transfer, Pt B. — 2001. — Vol. 40, P. 99–137.

1.94. Спивак Ю.Э. Численное исследование 2D задачи электромагнитной маскировки методом оптимизации

В настоящее время в научных кругах широко обсуждаются и применяются эволюционные методы моделирования и эволюционные алгоритмы решения задач оптимизации, об этом можно судить по количеству публикаций на указанную тему [1, 2]. В настоящей работе рассматривается приближенная задача маскировки цилиндрического тела с помощью неоднородной анизотропной многослойной маскировочной оболочки, где степень приближения характеризуется параметром $\delta \geq 0$, имеющим смысл параметра регуляризации. Решение поставленной задачи получается путем строгого решения уравнения Гельмгольца с сингулярными переменными коэффициентами. Однако техническая реализация полученных решений весьма затруднительна из-за отсутствия в природе соответствующих маскировочных материалов, отвечающих найденным решениям. Существует несколько способов преодоления трудностей с технической реализацией решений [3, 4]. Один из таких способов представлен в данной работе. Он заключается в замене точных решений задачи маскировки, описывающих сингулярные анизотропные параметры маскировочной оболочки, некоторыми приближенными (несингулярными) параметрами, которые вычисляются путем применения одного из эволюционных алгоритмов, а именно: классического алгоритма роя частиц. Разработан комплекс программ, реализующий разработанный алгоритм, выполнен цикл вычислительных экспериментов по его реализации в широком диапазоне изменения параметров задачи, проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами других авторов. Проведенный анализ показал эффективность разработанного алгоритма.

Список литературы

- [1] WANG X., SEMOUCHKINA E. A. A route for efficient non-resonance cloaking by using multilayer dielectric coating // Appl. Phys. Lett. — 2013. — Vol. 102, P. 113506.
- [2] MIRZAEI A. ET AL. All dielectric multilayer cylindrical structures for invisibility cloaking // Sci. Rep. — 2015. — Vol. 5, P. 5:9574.
- [3] ALEKSEEV G.V. Analysis and optimization in problems of cloaking of material bodies for the Maxwell equations // Differential Equations. — 2016. — Vol. 52, P. 361–372.
- [4] ALEKSEEV G.V., SPIVAK YU.E. Analysis of the 3D acoustic cloaking problems using optimization method // J. Phys. Conf. Ser. — 2016. — Vol. 722, P. 012002.

1.95. Стогний П.В., Петров Д.И., Петров И.Б. Влияние ледовых образований на сейсмические отклики в трехмерных моделях в условиях Арктики

В настоящее время в Арктике расположены восемь месторождений углеводородов. Основной проблемой для геологов на пути исследования подводных глубин на наличие полезных ископаемых являются различные ледовые образования, например, айсберги, торосы. Именно поэтому моделирование волновых процессов в прибрежных водах Арктики играет важную роль.

В работе рассматриваются сплошные среды в линейно-упругой постановке:

$$\rho \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{v} = (\nabla \cdot \sigma)^T, \\ \frac{\partial}{\partial t} \sigma = \lambda (\nabla \cdot \mathbf{v}) I + \mu (\nabla \otimes \mathbf{v} + (\nabla \otimes \mathbf{v})^T).$$

Решается полная система уравнений для акустического поля давления ρ и компонент скорости \mathbf{v} :

$$\rho \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{v} = -\nabla \rho, \quad \frac{\partial}{\partial t} \rho = -c^2 \rho (\nabla \cdot \mathbf{v}).$$

Для численного решения уравнений использовался сеточно-характеристический метод.

Проводились численные эксперименты по решению задач сейсморазведки в условиях Арктики при наличии различных ледовых неоднородностей: ледового покрова, айсбергов и торосов.

Список литературы

- [1] Магомедов К. М., Холодов А. Сеточно-характеристические численные методы / М., 1988.
- [2] Петров И. Б., Муратов М. В., Фаворская А. В. и др. Численное моделирование прямых трехмерных задач сейсморазведки с применением сеточно-характеристического метода на неструктурированных тетраэдральных сетках // Компьютерные исследования и моделирование. — 2015. — Т. 7, № 4, С. 875–887.
- [3] Lin X., Yu X. A finite difference method for effective treatment of mild-slope wave equation subject to non-reflecting boundary conditions // Appl. Ocean Res. — 2015. — Vol. 53, — P. 179–189.

1.96. Стребкова Е.А., Кривошеина М.Н., Кобенко С.В. Коротационная производная Яуманна — Зарембы для численного моделирования динамического нагружения тел из анизотропных материалов

В данной работе рассматриваются тензорные меры скоростей изменения напряжений [1] в изотропном и анизотропном твёрдых телах, испытывающих большие деформации. При решении задачи моделирования динамического нагружения анизотропных твердых тел в трехмерной постановке возникает необходимость изменения вида применяемой

коротационной производной. Применение коротационных производных позволяет корректировать напряженное состояние отдельных элементов разностной сетки, обусловленное их движением как жесткого целого. Для случаев трансверсальной симметрии твердых тел изменение вида коротационной производной обусловлено несоответствием равномерного напряженного состояния равномерному деформированному. Это является следствием того, что в анизотропных твёрдых телах невозможно непосредственно разложить энергию упругой деформации на энергию изменения объёма и энергию изменения формы. Это можно сделать только в особых случаях — при условии равномерного напряженного или равномерного деформированного состояний. Если рассматривать коротационную производную Яуманна-Зарембы, ее запись должна быть сделана с использованием компонент полных напряжений [2], а не с использованием девиаторов напряжений, как это традиционно выполняется при численном моделировании процессов деформации в изотропных твердых телах [3, 4]. В работе на примере коротационной производной Яуманна — Зарембы показано отличие коротационных производных для изотропных и анизотропных (транстропных) твердых тел в трехмерной постановке.

Список литературы

- [1] Нигматулин Р. И. Курс лекций по механике сплошных сред. / Адрес доступа: <http://nigmatulin.ru/faylovyiy-arhiv/2.html>.
- [2] Коларов Д., Батлов А., Бончева Н. Механика пластических сред / М.: Мир, 1979. — 304 с.
- [3] Коровейников С. Н. Нелинейное деформирование твёрдых тел / Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. — 262 с.
- [4] Поздеев А. А., Труссов П. В., Няшин Ю. И. Большие упругопластические деформации: теории, алгоритмы, приложения / М.: Наука, 1986. — 232 с.

1.97. Трачева Н.В., Ухинов С.А. Исследование угловых характеристик поляризованного излучения с помощью проекционных оценок метода Монте-Карло

Работа посвящена численному исследованию угловых характеристик поляризованного излучения, проходящего и отраженного слоем рассеивающего вещества. В частности, исследуются угловое распределение интенсивности излучения и угловое распределение степени поляризации.

В качестве математической модели процесса переноса частиц в атмосфере используется односкоростная модель, в основе которой лежит цепь Маркова «столкновений», разделенных «свободными пробегами», которые имеют неоднородное экспоненциальное распределение. Поляризация вводится в математическую модель переноса излучения с помощью вектора Стокса [1].

Для решения поставленных задач, используется метод, предложенный в [2] и основанный на мето-

де рандомизированных ортогональных разложений плотности распределения. Так, плотность углового распределения интенсивности излучения представляется в виде разложения по некоторой системе стандартных функций, ортонормированных с некоторым весом, а плотность углового распределения степени поляризации излучения — как отношение двух подобных разложений. Проекционные оценки здесь строятся по коэффициентам разложения, которые представляют собой математические ожидания взвешенных случайных значений стандартных функций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН I.33 и РФФИ (гранты № 15-01-00894, 16-31-00123).

Список литературы

- [1] Марчук Г.И., Михайлов Г.А., Назаралиев М.А. и др. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике / Новосибирск: Наука, 1976. — 284 с.
- [2] Михайлов Г.А., Трачева Н.В., Ухинов С.А. Алгоритм метода Монте-Карло для оценки углового распределения рассеянного поляризованного излучения на основе ортогонального разложения // Доклады РАН. — 2015. — Т. 464, № 4, С. 401.

1.98. Трофимова С.А. Смешанные вариационные формулировки на базе разрывного метода Галеркина для решения эллиптических задач

Применение смешанных вариационных постановок, основанных на формулировке разрывного метода Галеркина, является одним из современных подходов для численного решения эллиптических задач. Основная идея смешанных вариационных методов 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 суммы двух или более подпространств [1]. Сложность метода определяется необходимостью нахождения седловой точки функционала.

В данной работе рассматривается использование смешанной формулировки для математического моделирования процесса фильтрации жидкости (газа), который описывается моделью Дарси [2]:

$$-\nabla \cdot (K \nabla p) = f, \quad (1)$$

$$-K \nabla p \cdot \mathbf{n} = g, \quad (2)$$

где K — симметричный, положительно определенный тензор; p — давление. Уравнение (1) рассматривается на ограниченной n -мерной области $\Omega \subset R^n$ с границей $\partial\Omega$.

Построена вычислительная схема для смешанной постановки на базе разрывного метода Галеркина

для решения задачи Дарси с контрастным тензорным коэффициентом проницаемости среды, а также исследовано влияние выбора численных потоков на устойчивость вычислительной схемы. Проведены вычислительные эксперименты на классе задач с гладким аналитическим решением.

Список литературы

- [1] ARNOLD D. N. Mixed finite element methods for elliptic problems // Comp. Meth. in Appl. Mechanics and Eng. — 1990. — Vol. 82, P. 281–300.
- [2] BREZZI F. Mixed discontinuous Galerkin methods for Darcy flow // J. Scientific Comp. — 2005. — Vol. 22, N 1, P. 119–145.

1.99. Усенков С.В., Настовьяк А.Г., Шварц Н.Л. Моделирование процессов формирования наноструктур методом Монте-Карло с учётом димеризации

По мере приближения технологии изготовления современных электронных приборов к размерам порядка нанометров всё большую роль играет понимание фундаментальных процессов, происходящих на атомарном уровне. Наравне с экспериментальными методами исследования наноструктур значимую роль играет моделирование. Существует множество вычислительных методов, позволяющих как рассчитывать свойства и характеристики исследуемых систем, так и моделировать процессы их роста. Применительно к задачам формирования наноструктур часто используются расчёты из первых принципов, молекулярная динамика или семейство методов Монте-Карло. Последние включают в себя так называемые решёточные алгоритмы, имеющие на порядки большее быстродействие за счёт упрощения моделируемого пространства до регулярной сетки.

В ИФП СО РАН был разработан программный комплекс SilSim3D, предназначенный для моделирования технологических процессов формирования наноструктур и реализующий идею решёточной модели с планированием времени событий методом Монте-Карло [1]. В разное время при помощи данного комплекса проводилось моделирование таких физических процессов, как ALD, отжиг тонких плёнок SiO₂, каталитический и самокаталитический рост нановискеров, капельная эпитаксия и других. Данная работа посвящена введению в решёточный алгоритм учёта перезамыкания свободных связей поверхностных атомов. В трёхмерной сетке пространственных узлов каждый из них может быть свободен или занят частицей. С течением модельного времени с частицами могут происходить несколько типов элементарных событий, вероятность которых определяется соответствующими энергетическими барьерами. Были введены два новых типа событий — образование димерной связи и её разрушение, а также поправки к барьерам на другие события для учёта влияния димеров. В результате мо-

дель позволяет рассматривать такие явления, как формирование димерных рядов на поверхностях с ориентацией (100) и анизотропию диффузии адатомов по димеризованной поверхности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 14-01-31529, 14-02-00776, 16-31-00120).

Список литературы

- [1] ЗВЕРЕВ А.В., ЗИНЧЕНКО К.Ю., ШВАРЦ Н.Л., ЯНОВИЦКАЯ З.Ш. Монте-Карло моделирование процессов роста наноструктур с алгоритмом планирования событий на шкале времени // Российские нанотехнологии. — 2009. — Т. 4, С. 85–93.

1.100. Филимонов С.А. Основные способы построения разномасштабных (1D–3D) моделей потокораспределения в гидродинамических системах, на примере программного комплекса sigmaFlow

Работа посвящена построению разномасштабных моделей потокораспределения в гидродинамических системах. Под разномасштабными подразумеваются модели, в которых одновременно присутствуют разные по размерности элементы, в данном случае 1D и 3D. Одномерные элементы модели рассчитываются методами из Теории гидравлических Цепей [1], трехмерные — методами вычислительной гидродинамики. В первой части работы описана актуальность построения таких моделей. Во второй рассмотрены три основных способа их реализации.

1. Расщепленная модель: пространственная и сетевая части рассчитываются по отдельности.
2. Гидравлически единая модель: пространственная и сетевая части рассчитываются одновременно.
3. Гидравлически не связанная модель: сетевые элементы «пронизывают» пространственную часть, и связь происходит с помощью интегральных характеристик на стенках трубы/канала.

Для каждого способа описываются свои достоинства и недостатки. Также приведён ряд практических примеров применения разномасштабных моделей как выполненных автором, так и представленных в других работах.

Список литературы

- [1] ХАСИЛЕВ В.Я., МЕРЕНКОВ А.П. Теория гидравлических цепей / М.: НАУКА, 1985. — 279 с.

1.101. Хаимчикова Ж.Б., Слепцова Н.С., Лихачев А.В. Моделирование рентгеновских изображений с учетом энергетического спектра источника

Разработана следующая модель рентгеновского изображения, учитывающая энергетический спектр источника. Трёхмерный объект, от которого вычисляются проекции, моделируется в виде набора из нескольких математических фантомов, имеющих

одинаковую геометрическую форму, но разную амплитуду. Каждый из фантомов соответствует определённой энергии источника. Последний представляется совокупностью монохроматических источников, расположенных в одной точке. Их интенсивность определяется интенсивностью соответствующей энергетической компоненты. Для каждой пары источник — фантом по закону Бугера [1] вычисляется изображение. Тем самым учитывается зависимость коэффициента ослабления от энергии фотонов. К каждому изображению добавляется случайная функция $\xi_i(u, v)$, моделирующая шум измерений. Поскольку характер шума зависит от интенсивности источника и энергии фотонов [1], $\xi_i(u, v)$ могут различаться. Итоговое изображение в некоторой точке A двумерного детектора получается путём суммирования:

$$I(A) = \sum_{i=1}^N \left(I_i \exp \left(-a_i \int_S g(x, y, z) dl \right) + \xi_i \right), \quad (1)$$

где N — число компонент, рассматриваемых в спектре источника. Интегрирование в (1) производится вдоль отрезка, соединяющего место положения источника и точку A на детекторе. Через $g(x, y, z)$ обозначена характеристическая функция, определяющая форму трёхмерного объекта; a_i — амплитуды фантомов; ξ_i — случайные величины, которые, вообще говоря, могут иметь различные распределения. Интенсивности монохроматических источников I_i вычислялись в предположении, что энергетический спектр имеет форму гауссовой кривой.

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

Список литературы

- [1] ХЕРМЕН Г.Т. Восстановление изображений по проекциям. Основы реконструктивной томографии: Пер. с англ. / М.: Мир, 1983 — 349 с.

1.102. Хромова Н.А., Игошин Д.Е. Гидравлическое сопротивление извилистых каналов

К основным параметрам пористой среды, определяющим ее фильтрационно-емкостные свойства, относятся пористость и проницаемость [1–3]. Однако проницаемость зависит не только от пористости, но и от структуры пористой среды. Извилистость каналов является одним из тех параметров, которые определяют структуру порового пространства. В работе исследовано влияние извилистости каналов пористой среды на их гидравлическое сопротивление при ламинарном течении.

Рассмотрены тонкие каналы круглого сечения двух типов: с направляющей, составленной из дуг окружностей, и направляющей в виде синусоиды. Геометрия задачи и расчетная сетка были построены в SALOME. По результатам прямого гидродинамического моделирования течения, проведенного в па-

кете OpenFOAM, найден объемный расход флюида через поперечное сечение канала [4].

Установлено, что объемный расход флюида через поперечное сечение канала зависит не только от извилистости направляющей канала, но и от ее средней по длине кривизны. Показано, что при фиксированном перепаде давления с увеличением извилистости коэффициент гидравлического сопротивления канала увеличивается и при больших перепадах давления возрастает быстрее.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-29-15119-офи_м).

Список литературы

- [1] Хейфец Л. И., Неймарк А. В. Многофазные процессы в пористых средах / М.: Химия, 1982. — С. 29–33.
- [2] ЛЕОНТЬЕВ Н. Е. Основы теории фильтрации: Учебное пособие / М.: Изд-во Центра прикладных исследований при механико-математическом факультете МГУ, 2009. — 88 с.
- [3] Игошин Д. Е., Никонова О. А., Мостовой П. Я. Моделирование пористой среды регулярными упаковками пересекающихся сфер // Вест. Тюменского гос. ун-та. — 2014. — № 7, С. 34–42.
- [4] Игошин Д. Е. Численное определение проницаемости в среде периодической структуры, образованной разветвляющимися каналами // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. — 2015. — № 12, С. 30–33.

1.103. Цыденов Б. О. Численное исследование распространения примеси в пресном озере на основе распределения мутности воды

Работа посвящена исследованию распространения примеси загрязняющих веществ в пресном озере с помощью 2.5D негидростатической модели, учитывающей почасовое изменение коротковолновой и длинноволновой радиации, потоков скрытого и чувствительного тепла на поверхности водоема. Для анализа динамических процессов загрязнения рассматривается показатель мутности, характеризующей зависимость прозрачности воды от наличия в ней мелкодисперсных взвешенных примесей различного происхождения. Представлены результаты математического моделирования для условий озера Камлупс (Британская Колумбия, Канада).

Решение задачи основано на методе конечных объемов, согласно которому скалярные величины (мутность, температура, минерализация воды) определяются в центре сеточной ячейки, а компоненты вектора скорости — в средних точках на границах ячеек. Численный алгоритм нахождения поля течения и температуры опирается на разностную схему Кранка — Николсона. Конвективные слагаемые в уравнениях аппроксимируются по противопотоковой схеме второго порядка. Согласование рассчитываемых полей скорости и давления осуществляется за счет вариации плотности в гравитацион-

ном члене уравнения количества движения для вертикальной составляющей — процедуры SIMPLED (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations with Density correction) [1]. Системы разностных уравнений на каждом шаге по времени решаются методом релаксации.

Пространственно-временное распределение мутности воды в озере Камлупс показало, что в начальной стадии моделирования примесь, поступающая из реки Томпсон, распространяется в глубоководную часть озера за счёт возникающего под действием силы тяжести вдольсклонового течения. Затем, по мере усиления темпов теплонакопления и прогрева речного притока, менее плотная водная масса распространяется по поверхности озера, что способствует концентрации максимальных значений мутности в верхних слоях водоёма. Полученные результаты численного эксперимента качественно соответствуют измерениям натурных наблюдений [2].

Исследование выполнено при поддержке Президента РФ (грант № МК-4790.2016.5).

Список литературы

- [1] TSYDENOV B. O., KAY A., STARCHENKO A. V. Numerical modeling of the spring thermal bar and pollutant transport in a large lake // Ocean Modelling. — 2016. — Vol. 104, P. 73–83.
- [2] JOHN B. E. ST., CARMACK E. C., DALEY R. J. ET AL. The limnology of Kamloops Lake. B.C / Vancouver, 1976. — 167 p.

1.104. Черевко А. А., Борд Е. Е., Хе А. К., Панарин В. А., Орлов К. Ю., Чупахин А. П. Применение нелинейного аналога Диаграмм Найквиста для анализа обобщенного уравнения Ван дер Поля — Дуффинга, описывающего локальную гемодинамику мозга

Релаксационные колебания в сложной составной системе «пульсирующий поток крови — упругие стенки сосудов — окружающая среда мозга» описываются уравнением нелинейного осциллятора Ван дер Поля — Дуффинга [2]

$$\varepsilon q''(t) + P_2(q)q' + P_3(q) = k u(t).$$

Здесь q и u — гемодинамические параметры — безразмерные давление и скорость соответственно; коэффициенты $a_i, b_i, k \in R$ функций $P_2(q) = a_1 + a_2 q + a_3 q^2$ и $P_3(q) = b_1 q + b_2 q^2 + b_3 q^3$ определяют демпфирующие и упругие свойства системы; ε — малый параметр. Эти коэффициенты определяются индивидуально для каждого пациента на основе клинических данных методами теории обратных задач [1]. Уравнение имеет решения различной структуры, которая определяется коэффициентами a_i, b_i, k и правой частью.

Уравнения, построенные по клиническим данным, обладают, как правило, устойчивым периодическим решением. Диаграммы Найквиста (ДН) являются удобным инструментом исследования решений

уравнения с гармонической правой частью $u(t) = A \sin(\omega t)$ при различных A и ω [3]. ДН связывают параметры внешней силы A и ω и параметры возбуждаемых в системе колебаний. Такой подход существенно дополняет экспериментальные данные и позволяет расширить исследуемый диапазон возможных внешних воздействий на гемодинамическую систему мозга.

Был проведен анализ ДН для 300 уравнений, описывающих системы сосудов головного мозга для пяти пациентов с церебральными аневризмами. Обнаружено конечное число паттернов, представляющих динамику изменения решения уравнения при изменении правой части, начиная с появления субгармоник в решении и заканчивая разрушением периодического решения. Применительно к живой системе, последнее может означать нарушение ее функционирования.

Список литературы

- [1] ЧУПАХИН А. П., ЧЕРЕВКО А. А., ХЕ А. К. и др. Измерения и анализ локальной церебральной гемодинамики у больных с сосудистыми мальформациями головного мозга // Патология кровообращения и кардиохирургия. — 2012. — 27 с.
- [2] БУТЕНИН Н. В., НЕЙМАРК Ю. И., ФУФАЕВ Н. Л. Введение в теорию нелинейных колебаний / М.: Наука, 1987. — 382 с.
- [3] NYQUIST H. Regeneration theory // Bell System Tech. J. — 1932. — 126 p.

1.105. Черемных Е. Н. Об однонаправленном термогравитационном движении вязкой жидкости в плоском канале

Работа посвящена исследованию начально-краевой задачи, описывающей однонаправленное движение жидкости в модели Обербека — Буссинеска в плоском канале с твёрдыми неподвижными стенками, на которых задано распределение температур (или верхняя стенка — теплоизолирована). Постановка задачи и результат её однозначной разрешимости классического решения анонсированы в [1]. В данной работе найдено точное стационарное решение задачи. Решение нестационарной задачи получено в виде быстро сходящихся рядов по специальному базису [2], получены априорные оценки и установлены условия при которых решение сходится к стационарному. Приведены примеры численного решения для конкретной жидкой среды, подтверждающие теоретические результаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-01-00067).

Список литературы

- [1] ПУХНАЧЁВ В. В. Нестационарные аналоги решения Бириха // Изв. АлтГУ. — 2011. — № 1/2, С. 62–69.
- [2] ANDREEV V. K. Unsteady 2D Motions a Viscous Fluid Described by Partially Invariant Solution To the Navier — Stokes Equations // J. SFU. Math. and Phys. — 2015. — Vol. 8(2), P. 140–147.

1.106. Чеховской И. С. Сложение и сжатие оптических импульсов с помощью многосердцевинных световодов

В настоящее время многосердцевинные световоды (МСФ) используются в различных областях фотоники. Главным образом, они позволяют существенно повысить пропускную способность существующих оптических линий связи. Недавно была продемонстрирована возможность другого применения МСФ — в качестве основы устройства для сжатия и сложения оптических импульсов [1, 2]. С помощью численного моделирования была продемонстрирована возможность сложения 82.8 % суммарной энергии оптических импульсов, введенных в каждую сердцевину 7-сердцевинного световода с расположенными по кругу сердцевинами. Длительность полученного импульса оказалась в 6.6 раз меньше начальной. В случае 20-сердцевинного световода были получены значения 72.7 % и 17.4 раз.

В данном сообщении будут представлены результаты дальнейших исследований нелинейного сжатия и сложения оптических импульсов. В частности будут проведен анализ использования световодов с двухмерным расположением сердцевин: в узлах квадратной и гексагональной решеток. Такие МСФ обладают более сильными возможностями для сжатия импульсов. Для моделирования распространения оптических импульсов в данных световодах использовалось дискретно-непрерывное нелинейное уравнение Шредингера:

$$i \frac{\partial U_{n,m}}{\partial z} + \frac{\partial^2 U_{n,m}}{\partial t^2} + (CU)_{n,m} + |U_{n,m}|^2 U_{n,m} = 0, \quad (1)$$

где сумма $(CU)_{n,m}$ определяет линейные связи между огибающими импульсов в соседних сердцевинах. В сообщении будут представлены результаты поиска оптимальных параметров вводимых в каждое ядро Гауссовских импульсов (с чирпом и без чирпа), при которых достигается наибольшее сокращение временной длительности оптического импульса и наблюдается наилучшая эффективность сложения энергии оптических импульсов.

Также будут рассмотрены численные методы, использованные для решения системы (1). В их числе предложенная ранее модификация метода Фурье расщепления по физическим процессам с использованием аппроксимации Паде для численного нахождения матричной экспоненты [3], а также компактная схема повышенного порядка аппроксимации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-21-00110).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Федорук М. П.

Список литературы

- [1] RUBENCHIK A. M., CHEKHOVSKOY I. S., FEDORUK M. P. ET AL. Nonlinear pulse combining and pulse compression in multi-core fibers // Opt. Lett. — 2015. — Vol. 40, N 5, P. 721–724.

- [2] Рубенчик А. М., Турицын С. К., Федорук М. П. и др. Сжатие и сложение оптических импульсов в многоядерных световодах // Фотон-экспресс. — 2015. — № 6 (126), С. 105–106.
- [3] Чеховской И. С. Использование аппроксимации Паде для решения систем нелинейных уравнений Шредингера с помощью метода расщепления по физическим процессам // Вычисл. технологии. — 2015. — Т. 20, № 3, С. 99–108.

1.107. Чуруксаева В.В., Старченко А.В. Численное моделирование двухфазного турбулентного течения в открытом канале в приближении мелкой воды

Работа посвящена исследованию турбулентного течения смеси «жидкость — легкие частицы» в открытом канале в приближении мелкой воды. Для решения поставленной задачи была построена новая математическая модель нестационарного двухфазного изотермического движения смеси «вода — ледяные частицы» в открытом русле (канале) на основе уравнений механики взаимодействующих взаимопроникающих континуумов [1]. Взаимодействие частиц между собой учитывается введением в модель вязкости дисперсной фазы.

С учетом сделанных предположений модель будет включать уравнения неразрывности и движения для несущей фазы (индекс l обозначает жидкость)

$$\begin{aligned} \frac{d_l h'}{dt} &= 0; \\ \frac{d_l h' \bar{w}_{kl}}{dt} &= -gh' \frac{\partial(z_b + h)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(h' \tau_{xxl}) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y}(h' \tau_{xyl}) + S_{lx}, \quad (k = 1, 2) \end{aligned}$$

и соответствующими уравнениями

$$\begin{aligned} \frac{d_i h'' \bar{w}_{ki}}{dt} &= 0; \\ \frac{d_i h'' \bar{w}_{ki}}{dt} &= -\frac{\rho_l^0}{\rho_i^0} gh'' \frac{\partial(z_b + h)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(h'' \tau_{xxi}) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y}(h'' \tau_{xyi}) + S_{ix}, \quad (k = 1, 2) \end{aligned}$$

для дисперсной фазы ледяных частиц (индекс i обозначает лёд). Здесь

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{\partial\Phi}{\partial t} + w_1 \frac{\partial\Phi}{\partial x} + w_2 \frac{\partial\Phi}{\partial y};$$

h — глубина всего потока; $0 \leq \alpha_l \leq 1$, $0 \leq \alpha_i \leq 1$, $\alpha_l + \alpha_i = 1$ — массовые доли льда и воды; $h'' = \bar{\alpha}_i h_i$, $h' = h - h''$; $\bar{w}_l = (\bar{w}_{1l}, \bar{w}_{2l})$ — осредненная по глубине скорость несущей фазы; $\bar{w}_i = (\bar{w}_{1i}, \bar{w}_{2i})$ — осредненная по толщине слоя скорость дисперсной фазы; g — ускорение свободного падения; ρ_l^0 , ρ_i^0 — истинные плотности воды и льда соответственно. Источники S_l , S_i включают силу Архимеда, силу

межфазного вязкого трения, силу за счет эффекта присоединенной массы, силу Кориолиса и силу трения о дно (для несущей фазы) [1]. Для турбулентного замыкания модели применяется осредненная по глубине $k - \varepsilon$ модели турбулентности с учетом плавучих дисперсных частиц. Тестирование модели проводилось на расчетах течения в открытом канале со сглаженным поворотом, характеристики течения в котором эквивалентны характеристикам течения в неглубокой равнинной реке.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-41-700178-р_а) и Администрации Томской области.

Список литературы

- [1] Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред. Ч. 1. / М.: Наука, 1987. — 464 с.

1.108. Чухно В.И., Усов Э.В. Численное моделирование снарядного режима течения для обоснования безопасности реакторных установок

Развитие вычислительной техники и методов численного решения задач гидрогазодинамики привело к тому, что во многих областях науки и техники численное моделирование процессов переноса массы, энергии и импульса становится определяющим. Одной из основных областей техники, в которой используются результаты численного моделирования, является обоснование безопасности ядерных реакторов. Математическая модель для описания переноса продуктов истечения формулируется путем рассмотрения набора уравнений сохранения, определяющих баланс массы, импульса и энергии. Представленная в работе математическая модель учитывает гетерогенность, скоростную и температурную неравновесность среды. Межфазные взаимодействия в используемой модели учитывают деформацию пароводяных образований и имеют специфические замыкающие соотношения в зависимости от режима течения.

В настоящей работе представлены результаты моделирования переноса продуктов истечения с использованием описанных соотношений. Для численной реализации был выбран метод конечных разностей. В основе пространственной дискретизации лежит метод конечных объемов. В качестве численной схемы была выбрана схема с разностями против потока. Корректность численной реализации была проверена на доступных экспериментах и тестах, которые имеют аналитическое решение.

1.109. Шестаков В.В., Степанов Д.Ю., Парубенко И.В. Исследование алгоритма совместного геостатистического 3D-моделирования геологических сред

Задача построения трехмерных моделей псевдопетрофизических параметров актуальна в области геофизики. Ей посвящено множество книг и науч-

ных публикаций, авторы которых предлагают свои методы решения (нейронные сети, регрессионный анализ, геостатистика и др.). Несмотря на это, сегодня не существует общепринятого подхода и, зачастую, прогноз петрофизических параметров ограничивается лишь двумерными моделями.

В данной работе приведены результаты исследования нового метода, основанного на геостатистическом подходе и использующего в качестве априорной информации данные 3D МОГТ (метод общей глубинной точки) и ГИС (геофизические исследования скважин). Исследования показали высокую эффективность в случае, когда данные ГИС наиболее подробно описывают все особенности прогнозируемого поля и не содержат избыточной информации. При этом недостаточность данных приводила к снижению точности искомой модели, а избыточность — к сингулярности матрицы системы уравнений и невозможности использования метода. Очевидно, что точность прогноза будет зависеть от схожести ковариационных свойств выбранного атрибута МОГТ и ГИС. Однако однозначного критерия выбора атрибута на данный момент не существует.

Список литературы

- [1] Демьянов В. В., Савельева Е. А. Геостатистика. Теория и практика / М.: Наука, 2010. — 327 с.
- [2] Шестаков В. В., Степанов Д. Ю., Сысолятина Г. А. Построение трехмерных моделей параметров геологических сред // Сб. науч. тр. III Международ. конф. «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине» в 2 ч., Томск, 2016. — 2016. — Ч. 1. — С. 87–91.

1.110. Щербakov П. К. Численное моделирование многофазных течений в гидротурбине

На многих режимах работ гидравлических турбин возникают кавитационные явления. Они оказывают негативное влияние на КПД гидротурбин. Более того, кавитационные каверны являются причиной возникновения низкочастотных колебаний, распространяющихся вдоль всего проточного тракта [1]. Наиболее распространенным способом борьбы с такими пульсациями является выпуск воздуха под рабочее колесо гидротурбины.

Математическая модель состоит из уравнений Навье — Стокса для гомогенной смеси «жидкость — пар — воздух», уравнения переноса объемной доли жидкости с источниковыми членами, отвечающими за конденсацию и парообразование, а также уравнения переноса объемной доли воздуха. Замыкается система при помощи $k - \epsilon$ модели турбулентности Кима — Чена. Воздушная фаза предполагается несжимаемой.

Численный алгоритм основан на методе искусственной сжимаемости и неявном методе конечных объемов, аналогичном [2, 3]. Для аппроксимации невязких потоков использовалась MUSCL схема третьего порядка. Вязкие потоки аппроксимировались при

помощи центрально-разностной схемы второго порядка. Численный алгоритм протестирован на задаче о разрушении плотины. Исследовано влияние выпуска воздуха на амплитуду низкочастотных автоколебаний при работе гидротурбины на режимах повышенной мощности. Показано, что выпуск воздуха способен значительно снизить амплитуду автоколебаний.

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

Список литературы

- [1] Chirkov D., Cherny S., Scherbakov P., Zhanarov A. Evaluation of range of stable operation of hydraulic turbine based on 1D-3D model of full load pulsations // Proc. 6th IAHR Working Group «Cavitation and dynamic problems», Ljubljana, Slovenia, 2015.
- [2] Черный С. Г., Чирков Д. В., Лапин В. Н. и др. Численное моделирование течений в турбомашинах / Новосибирск: Наука, 2006.
- [3] Kunz R., Boger D., Stinebring D. et al. A preconditioned Navier-Stokes method for two-phase flows with application to cavitation prediction // Computers & Fluids. — 2000. — N 29, P. 849–875.

2. Информационные технологии

2.1. Авраменко Ю.В., Фёдоров Р.К. Решение задачи удовлетворения ограничений в логическом методе идентификации объектов

В логическом методе идентификации объектов на растровых изображениях [1] производится поиск возможных сочетаний расположения графических примитивов, удовлетворяющих пространственным ограничениям. Графические примитивы задаются точками, координаты которых принадлежат двумерному целочисленному конечномерному пространству. Размер пространства, домен, равен $n \times m$, что соответствует размеру исходного изображения в пикселях. Пространственные ограничения позволяют задать взаимное расположение графических примитивов инвариантное к повороту изображения. В процессе поиска можно производить перебор всех возможных сочетаний значений переменных (точек) и производить проверку на соответствие заданным пространственным ограничениям. Данный способ не является эффективным в плане временных затрат из-за больших размеров доменов переменных. Для повышения эффективности перебора можно использовать методы логического программирования в ограничениях на конечных доменах CLP(FD), а задачу повышения эффективности свести к задаче удовлетворения ограничений CSP. Существующие способы решения задачи CSP, приведенные в работе [2], «Generate and Test», «Generate or Test», «Forward Checking», «Node Consistent», «Arc Consistent», «Path Consistent» и другие позволяют сократить время перебора в логических методах. Однако данные методы недостаточно эффективны.

Необходимо отметить, что большинство ограничений являются типовыми и для них можно реализовать более эффективный перебор значений переменных. Предлагается реализовать специальные синтаксические конструкции и алгоритмы обработки для наиболее часто употребляемых пространственных ограничений, а повышение эффективности достичь за счет усечения доменов переменных (пространства перебора) на основе анализа пространственных ограничений. Рассмотрим пространственные ограничения более подробно. Пространственные ограничения описываются при помощи предложений вида: $\langle \text{выражение} \rangle \langle \text{оператор сравнения} \rangle \langle \text{выражение} \rangle$. Под выражением понимается: константа, функция, арифметическое выражение. На текущий момент реализованы следующие функции:

- $\text{angle}(p_1, p_2, p_3)$ — значение угла, образованного отрезками $[p_1, p_2]$ и $[p_2, p_3]$;
- $\text{dist}(p_1, p_2)$ — расстояние между точками p_1 и p_2 ;
- $\text{parallel}(p_1, p_2, p_3, p_4)$ — определяет параллельность двух отрезков;

и операторы сравнения: $=$, $<$, $>$, \leq , \geq . Анализ пространственных ограничений происходит следующим образом. Имеется множество $G = \{g_i\}_{i=\{1..n\}}$ графических примитивов и множество $C = \{c_j\}_{j=\{1..m\}}$ пространственных ограничений. Для каждого графического примитива g_i при помощи специальных алгоритмов происходит анализ соответствующих пространственных ограничений $C_{g_i} \subseteq C$. В результате данного анализа происходит сокращение пространства поиска переменных текущего g_i графического примитива. В качестве примера можно привести следующий случай. Пусть имеется два смежных отрезка $[a, b]$, $[b, c]$ и пространственное ограничение $\text{angle}(a, b, c) = 45^\circ$, тогда, если будет известно положение одного из графических примитивов возможно вычислить окрестность поиска положения другого.

Реализация пространственных ограничений и алгоритмов обработки позволили сократить общее время выполнения программы.

Работа выполнена при поддержке ЦКП ИИ-ВС ИРНОК и РФФИ (гранты № 16-07-00411-а, 16-07-00554-а).

Список литературы

- [1] Бычков И. В., Фёдоров Р. К., Авраменко Ю. В., Ружников Г. М. Интерпретатор языка SOQL для обработки растровых изображений // Вычисл. технологии. — 2016. — Т. 21, № 1, С. 49–59.
- [2] Щербина О. А. Удовлетворение ограничений и программирование в ограничениях // Интеллектуальные системы. — 2011. — Т. 15, № 1, С. 53–170.

2.2. Аненков А., Пазников А.А. Алгоритмы локализации доступа к элементам потокобезопасных пулов на основе распределённых деревьев

С увеличением количества процессорных ядер в вычислительных системах с общей памятью актуальной является задача создания масштабируемых потокобезопасных структур данных. Одной из широко используемых в многопоточных программах структур данных является пул объектов. В качестве потокобезопасных пулов нередко применяются неблокируемые линейные списки. Однако в этом случае вершина списка становится «узким местом», поскольку одновременное обращение к ней нескольких потоков приводит к существенному снижению эффективности использования кэш-памяти.

Предлагается оригинальный подход к реализации потокобезопасного пула объектов без использования блокировок с применением одного из перспективных подходов для сокращения конкурентного доступа к разделяемым структурам данных — распределяющих деревьев (diffraction trees).

Разработаны алгоритмы оптимизации потокобезопасного пула для постоянного числа активных потоков. В их основе лежит локализация обращений потоков к разделяемым областям памяти с целью

максимизации пропускной способности. Применено распределение очередей и потоков по процессорным ядрам, учтено ложное разделение данных.

Предлагаемый в работе подход к реализации потокобезопасного пула без использования блокировок позволяет достичь высокой пропускной способности при высоких и низких нагрузках, обеспечивает большую масштабируемость при выполнении многопоточных программ, по сравнению с аналогичными реализациями на основе распределяющих деревьев [1–3]. Пул характеризуется предсказуемым LIFO/FIFO порядком выполнения операций и низкой временной задержкой прохода от корня распределяющего дерева к его листьям. В работе сформулированы рекомендации по использованию пула. Приведены результаты натурных экспериментов на многоядерной вычислительной системе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 15-07-02693, 15-37-20113, 15-07-00653, 16-07-00712, 15-07-00048)

Список литературы

- [1] AFEK Y., KORLAND G., NATANZON M., SHAVIT N. Scalable Producer-Customer Pools based on Elimination-Diffraction Trees // ACM. — 1989. — Vol. 17, N 3, P. 396–406.
- [2] DELLA-LIBERA G., SHAVIT N. Reactive diffracting trees // J. Parallel and Distributed Comput. — 2000. — Vol. 60, P. 853–890.
- [3] HA P. H., PAPATRIANTAFILOU M., TSIGAS P. Self-tuning reactive distributed trees for counting and balancing // OPODIS. — 2004, P. 213–228.

2.3. Бакиева А.М. Стемматизация и генерация словоформ казахского языка для систем автоматической обработки текстов

В данной работе рассматриваются принципы разбиения простых глаголов казахского языка на флексивные классы и построение основанного на этом разбиении алгоритма синтеза словоформ. При пополнении лексического словаря практически всегда выступают существительные или прилагательные, однако в казахском языке прилагательные, выступающие в роли определений, не приобретают окончаний, а изменение прилагательных, выступающих в роли существительных, не отличается от изменения существительных. В ходе исследования нами было уточнена классификация флексивных классов прилагательных, были выделены дополнительные классы именных слов и проанализированы флексивные классы глаголов. В основу построения рассматриваемых алгоритмов морфологического анализа и синтеза положено разбиение всех слов на классы, определяющие характер изменения буквенного состава форм слов [1]. Морфологические классы слов делятся на два вида — основоизменяемые классы, характеризующие систему изменения слов, и флексивные классы слов. Флексивные классы изменяемых слов выделялись на основе анали-

за их синтаксической функции и систем падежных, личных и родовых окончаний. Классы неизменяемых слов выделялись только по синтаксическому принципу [2]. В процессе исследования для прилагательных было выделено 14 флексивных классов, для глаголов — 4. На данный момент составлен словарь исключений для существительных, в которых изменяется порядок букв при спряжении. Система состоит из набора модулей: модуль генерации, модуль стемматизации. Модуль генерации и модуль стемматизации реализованы на языке Python с использованием библиотек: `psycorg2`, `collections`. Словари хранятся в базе данных PostgreSQL.

Список литературы

- [1] БАРАХНИН В.Б., ЛУКПАНОВА Л.Х., СОЛОВЬЕВ А.А. Алгоритм построения словоформ с использованием флексивных классов для систем морфологического анализа казахского языка // Вест. НГУ. — 2014. — Т. 12, вып. 2, С. 25–31.
- [2] БЕЛОНОВ Г.Г., НОВОСЕЛОВ А.П. Автоматизация процессов накопления, поиска и обобщения информации / М.: Наука, 1979. — 77 с.

2.4. Бедарев Н.А., Перепелкин В.А., Прокопьева А.В. Автоматический синтез оптимальных сценариев удалённого тестирования с использованием вычислительных моделей

В области высокопроизводительных вычислений, особенно в разработке и отладке системных параллельных подпрограмм, требуется выполнять серии тестов для определения работоспособности и характеристик разрабатываемого кода (к таким характеристикам относятся, например, время выполнения, расход памяти, нагрузка на сеть и т.п.). Такое тестирование — трудоёмкий рутинный процесс, включающий установку необходимого окружения на удалённом вычислительном кластере, запуск и контроль завершения тестов через систему очередей, обработку полученных данных и генерацию отчёта. Автоматизация этой рутинной работы желательна. В рамках работы предпринята попытка такой автоматизации с применением вычислительных моделей [1]. Недостатком существующих подходов является то, что они не поддерживают автоматическую возможность выбора оптимального варианта действий из множества описанных вариантов. Вычислительная модель (ВМ) описывает множество переменных, соответствующих результатам выполнения этапов работ, и множество операций, описывающих атомарные шаги, вычисляющие одни переменные из других. Операции и переменные снабжаются атрибутами, описывающие их свойства, что позволяет конструировать оптимальный план действий, решающий поставленную задачу (т.е. вычисляющий заданную переменную). Была разработана программа, реализующая вышеописанный подход для тестирования фрагментированных про-

грамм [2]. Параметрами программы являются: описание ВМ, перечень переменных, которые необходимо выполнить, критерии оптимизации. В результате генерируется и запускается shell-скрипт, осуществляющий необходимые действия.

Список литературы

- [1] Вальковский В. А., Малышкин В. Э. Синтез параллельных программ и систем на вычислительных моделях / Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. — 129 с.
- [2] MALYSHKIN V. E., PEREPETKIN V. A. LuNA Fragmented Programming System, Main Functions and Peculiarities of Run-Time Subsystem // Proc. 11th Intern. Conf. «Parallel Computing Technologies (PaCT 2011)». — Springer, LNCS 6873. — 2011. — P. 53–61.

2.5. Беликова М.Ю., Кречетова С.Ю., Казанцева А.А., Глебова А.В. Оценка и сравнительный анализ методов кластерного анализа данных о грозовых разрядах

Работа посвящена исследованию различных методов группировки данных о грозовых разрядах, регистрируемых международной сетью локализации молний WWLLN.

Результаты регистрации координат и времени грозового разряда могут быть представлены в виде вектора $V = (x, y, t)$ в трехмерном евклидовом пространстве E_3 . Мера близости между объектами задается с помощью евклидова нормированного расстояния [1]:

$$D(V_i, V_j) = \sqrt{\left(\frac{x_i - x_j}{x_{\text{norm}}}\right)^2 + \left(\frac{y_i - y_j}{y_{\text{norm}}}\right)^2 + \left(\frac{t_i - t_j}{t_{\text{norm}}}\right)^2},$$

где x_{norm} , y_{norm} , t_{norm} — параметры нормировки, определяющие расстояние и временной интервал между двумя разрядами, попадающими в один кластер. От параметров нормировки существенным образом зависят результаты группировки данных о грозовых разрядах. Рассмотрены три метода группировки данных — иерархический (метод «ближайшего соседа»), метод разбиений (k -средних) и плотностный (DBSCAN).

Сравнение методов производится на основе формальных способов оценки качества группировки: бутстрэп-метода и индексов *Silhouette* (индекс силуэта), *Dunn* (индекс Данна) и *DB* (индекс Девиды — Болдуина) [2]. Указанные способы оценки качества реализованы в виде функций на языке *R* и входят в пакет *fpc* [3].

Обсуждаются достоинства и недостатки рассматриваемых методов группировки и оценок их качества. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-47-040081p_a).

Список литературы

- [1] ШАБАГАНОВА С. Н., КАРИМОВ Р. Р., КОЗЛОВ В. И., МУЛЛАЯРОВ В. А. Характеристики грозовых ячеек по наблюдениям в Якутии // Метеорология и гидрология. — 2012. — № 12, С. 37–43.

- [2] Сивоголовко Е. Методы оценки качества четкой кластеризации // Компьютерные инструменты в образовании. — 2011. — Вып. 4 (96), С. 14–31.

- [3] HENNIG C. Flexible Procedures for Clustering / URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/fpc/fpc.pdf>.

2.6. Белоусова Д.А., Молокова Н.В., Фирчук Ж.В., Ожишев С.С. Разработка программного комплекса по интерпретации полевых данных аппаратуры электромагнитного исследования геологической среды

Работа посвящена разработке программного комплекса по интерпретации данных аппаратуры электромагнитного исследования геологического разреза, а именно реализации базовых методов и функций зондирования, а также графическому моделированию результатов полевых испытаний и построению карт исследованной местности. В его основу положены методы дипольного электромагнитного профилирования — ДЭМП и электромагнитного зондирования — ЭМЗ [1].

Каждый метод решает свою поисково-разведочную задачу в соответствии с геометрическим характером электромагнитного поля, создаваемым его источником (рамка, петля, заряд, заземлённый кабель) и перемещением приёмного устройства (рамка, линия) относительно источника поля. Эти задачи можно условно разделить на группы:

1. поисково-съёмочная;
2. зондирующая;
3. разведочная.

Для построения полной и адекватной математической модели реализовано программное решение в рамках архитектурного шаблона MVVM с использованием C Sharp. Визуализация графических элементов программного решения реализована с помощью WPF с целью адаптации технологий к современному оборудованию.

На сегодняшний день работа ведется над следующими модулями:

1. решение прямой и обратной задач разведки месторождения [2];
2. расчет корреляции между электромагнитными параметрами горных пород и характером рельефа;
3. выделение аномалий вероятностно-статистическим методом;
4. автоматизированная фильтрация данных при электромагнитном профилировании;
5. построение зависимости сопротивления слоев.

Математическая модель разработанных модулей основывается на алгоритмах решения задач электро-разведки. Для решения перечисленных задач используются как классические формулы математи-

ческой статистики

$$r(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}},$$

так и алгоритм решения прямой задачи электро-разведки, в котором поэтапно рассчитываются параметры исследуемой слоистой среды. Эффективное сопротивление среды вычисляется по следующей формуле:

$$\rho_e = \frac{|H_z|}{|H_r|} r^2 f,$$

где H_z , H_r — магнитные числа среды, а параметры r и f являются вычисляемыми и учитывают как электромагнитные свойства среды, так и рабочую частоту съемки [2].

Программный комплекс призван полностью автоматизировать работу аппаратуры ЭММ, сократить разрозненность вычислений, снизить ответственность интерпретатора, а также повысить скорость его работы в разы.

Список литературы

- [1] Иголкин В.И., Хохлов М.Ф., Тронин О.А., Алешечкин А.М. Аппаратура электромагнитных методов переменного гармонического тока и эффективность ее применения в рудной и инженерной геологии / Красноярск: СФУ, 2014. — 138 с.
- [2] Коровейников П.А., Молокова Н.В. Разработка программного комплекса для интерпретации данных методов электромагнитного зондирования // Материю науч. Конф., посвященной Году образования и Содружества Независимых Государств «Прспект Свободный-2016». — 2016. — С. 20–23.

2.7. Боганюк Ю.В. Разработка модели пересчета параметров контекста интернет-страниц по приоритетности

Для продвижения сайтов в поисковых системах используют контекстную рекламу — вид размещения объявлений в результатах запроса пользователя в поисковой выдаче. Для отображения на первых позициях необходимо как можно чаще обновлять параметры ключевых слов (КС) — запросов, по которым нужно показывать объявления (в среднем количество КС около 1000 на кампанию).

Разработанный подход описывает процесс обмена данными между web-приложением и сервером поисковой системы для пересчета параметров с учетом ограничений на объем данных в одном запросе и количество обращений к серверу в сутки.

Для вычисления минимально необходимых значений интервалов обновлений параметров было реализовано следующее решение:

1. кластеризовать КС по частотности обновления;
2. вычислить для каждого кластера значение средней частотности и количества операций обращения к серверу для обновления кластера;

3. найти минимальные интервалы обновлений кластеров с учетом полученных значений, ограничений сервера и приоритетов кластеров.

Интервалы полных обновлений кластеров высчитываются итерационным методом, при этом значения интервалов устанавливаются минимально допустимыми. Последовательно с самого низкоприоритетного кластера значения интервалов увеличиваются до тех пор, пока не будут выполнены все условия системы ограничений.

Модель апробирована на десяти рекламных кампаниях объемом до 10000 ключевых слов, при этом значения интервалов обновлений кластеров данных минимальны, соблюдаются ограничения сервера поисковой системы, и данные обновляются за минимальное количество обращений к серверу.

Научный руководитель — к.т.н., доцент Воробьева М.С.

2.8. Бодякин Е.В. Переход от общего сейсмического районирования к сейсмическому микрорайонированию с использованием вероятностных обобщенных спектров реакций и синтезированных акселерограмм

В Российской Федерации исторически сложилось двухступенчатая схема оценки сейсмической опасности — оценка исходной сейсмичности для средних грунтов и последующая корректировка оценок с учетом реальных грунтовых условий площадки.

На картах общего сейсмического районирования РФ (ОСР) отражается уровень сейсмических воздействий, выраженных в баллах макросейсмической шкалы с заданной вероятностью не превышения за период времени 50 лет. В отдельных случаях оценки исходной сейсмичности уточняются на стадии проектирования ответственных объектов (УСО, УИС). При сейсмическом микрорайонировании (СМР) рассчитываются поправки к оценкам исходной сейсмичности за счет реальных грунтовых условий.

При переходе от оценок ОСР к оценкам СМР возникает ряд сложностей и допущений, которые снижают надежность получаемых оценок. Еще более остро эта проблема встает при необходимости оценить сейсмическую опасность в численных параметрах движения грунта — ускорениях, скоростях, смещениях.

В докладе рассматривается алгоритм перехода от ОСР к СМР по средствам расчета вероятностных характеристик акселерограмм (пиковых ускорений, обобщенных спектров реакции, длительности колебаний) с последующей генерацией акселерограмм и численным моделированием реакции грунта. Для построения алгоритма использованы эмпирические зависимости характеристик землетрясений и параметров движения грунта [1], модифицированная процедура вероятностного анализа

сейсмической опасности ОСР-97 [2] и метод генерации расчетных акселерограмм по заданным спектрам реакций [3].

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

Список литературы

- [1] Аптикаев Ф. Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности / М.: Наука и образование, 2012. — 176 с.
- [2] Перетокин С. А. Некоторые аспекты вероятностной оценки сейсмической опасности с использованием эмпирических зависимостей // Инженерные изыскания. — 2016. — № 7, С. 39–48.
- [3] Бодякин Е. В. Генерация расчетных сейсмических воздействий по заданным спектрам реакций // Молодой ученый. — 2016. — № 11, С. 9–13.

2.9. Борзилова Ю.С., Каличкин А.О. Проектирование приложения для командной деятельности студентов с применением технологий дизайн-мышления

Сфера образования — один из начальных и главных этапов в процессе развития информационного общества. Информационные технологии стали неотъемлемой частью сфер производства и услуг. Именно поэтому важно на этапе образования обеспечить студентов и школьников передовыми знаниями и основными инструментами для взаимодействия с информационными технологиями. Для обеспечения вышеупомянутого инструментария в сфере образования используются различные методы и сервисы для ознакомления. Однако в условиях постоянного развития некоторые из способов обучения становятся неактуальными или выполняют не все функции, позволяющие проводить обучение, главным образом, в команде. Задача научной работы — выявить основные недостатки существующих сервисов (приложений), используемых студентами для командной работы, и, проанализировав их достоинства и недостатки, систематизировать требования для проектирования нового приложения, оказывающего помощь в обучении командной работы студентов. Основным источником извлечения знаний об образовательном процессе стал Новосибирский государственный университет: платформа Moodle, курсы MOOC и другие. Для обеспечения наиболее актуальных и востребованных результатов решено использовать концепцию дизайн-мышления. Предполагается провести социологический опрос студентов со следующей формулировкой: «какие приложения для работы в команде вы используете в учебном процессе и что бы вы хотели улучшить в их функционале?». На основе анализа полученных ответов с помощью «мозгового штурма» будут выделены наиболее значимые результаты для формирования функциональных требований нового приложения. Полученные демо-версии приложения будут проходить неоднократное юзабилити-тестирование, после которого будет выделен наиболее подходящий

функционал для приложения. Успешное проектирование всех аспектов запланированного проекта позволит создать принципиально новое приложение, отвечающее всем предъявляемым требованиям как со стороны сферы образования, так и с позиции следования тенденциям информационных технологий.

2.10. Быков А.А., Курако М.А. Вычислительный инструментарий для обработки данных гидрофизического мониторинга (на примере чилийских цунами 2010–2015 гг.)

Исследование посвящено решению прикладных задач гидрофизического мониторинга цунами, связанных с обработкой, включающих применение современных вычислительных средств вейвлет-анализа [1] и регрессионного моделирования [2] данных наблюдений [3]. Предлагается усовершенствованное алгоритмическое обеспечение, позволяющее решать ряд оптимизационных задач гидрофизического мониторинга волновых процессов в морских акваториях.

Результаты обработки расчетных и натурных данных о цунами являются информационной основой для вычислительных процедур поддержки принятия решений с целью повышения своевременности и надежности предупреждения об угрозе цунами.

Предлагаемое алгоритмическое обеспечение для обработки данных и проведенные расчеты реальных цунами (чилийские цунами 2010–2015 гг.) в рамках разрабатываемой вычислительной технологии показали новые возможности при решении обратной задачи. Предлагается вычислительная процедура быстрой коррекции параметров источника цунами на основе численного моделирования цунами и анализа результатов расчетов и наблюдений.

Список литературы

- [1] Новиков Л. В. Основы вейвлет-анализа сигналов : учеб. пособие / СПб.: ИАП РАН, 1999. — 221 с.
- [2] Носков М. В., Симонов К. В., Щемель А. Л. Нелинейная многопараметрическая регрессия данных наблюдений / Красноярск: ИЦП КГТУ, 2003. — С. 103–120.
- [3] NOAA National Data Buoy Center / URL: <http://www.ndbc.noaa.gov/dart.shtml>.

2.11. Воронов В.А., Апанович Д.В. Аппроксимация множеств достижимости импульсных управляемых систем на основе методов поверхности уровня

В последние два десятилетия было опубликовано большое количество работ, посвященных теории и приложениям методов поверхности уровня (level set methods). Эти методы были разработаны для численного решения уравнения эйконала и затем распространены на стационарные уравнения Гамильтона — Якоби [1]. В данном докладе представлена модификация одного из известных методов данного типа, позволяющая применить его к задаче оценки

множества достижимости импульсной управляемой системы [2].

Рассматривается автономная импульсная управляемая система с траекториями ограниченной вариации

$$dx = f(x)dt + G(x)dv(t), \quad x(0-) = x_0. \quad (1)$$

Здесь f, G — липшицевы функции, удовлетворяющие условию не более чем линейного роста; $(n \times n)$ -матрица $G(x)$ невырождена при $x \in \mathbb{R}^n$; вектор-функция $v(t)$ непрерывна справа и удовлетворяет ограничению

$$\text{var } v(t) = \sup \sum_{i=1}^s \|v(t_i) - v(t_{i-1})\| \leq M,$$

где супремум берется по всем разбиениям $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_s = T$ отрезка $[0, T]$.

Определим множество достижимости системы (1) в момент $t = T$:

$$\mathcal{R}(T, M) = \{x(T) \mid x(\cdot) = x(\cdot, v(\cdot)); \text{Var } v(t) \leq M\}.$$

В докладе представлен алгоритм, позволяющий для заданного $\varepsilon > 0$ найти такое конечное множество

$$\mathcal{R}_\varepsilon(t_1, M) = \{r_i\}, \text{ что } \mathcal{R}(T, M) \subset \bigcup_{i=1}^k B(r_i, \varepsilon), \text{ где}$$

$B(r_i, \varepsilon)$ — открытый шар радиуса ε . Алгоритм основан на численном решении стационарного уравнения Гамильтона — Якоби.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-01-00699_а).

Список литературы

- [1] SETHIAN J. A. Level Set Methods and Fast Marching Methods: evolving interfaces in computational geometry, computer vision and matherial science. — 2nd Ed. / Cambridge Univ. Press, 1999. — 378 p.
- [2] Дыхта В. А., Самсонык О. Н. Оптимальное импульсное управление с приложениями. — 2-е изд. / М.: Физматлит, 2003. — 225 с.

2.12. Воронов В. А., Самсонык О. Н. Условия оптимальности импульсных процессов с разрешающими множествами функций типа Ляпунова

В докладе будут представлены достаточные условия оптимальности для задачи оптимального импульсного управления с траекториями ограниченной вариации и импульсными управлениями типа регулярной векторной меры. Представленные условия оптимальности основаны на существовании разрешающих множеств функций типа Ляпунова, обладающих свойством сильной монотонности относительно импульсной управляемой системы и являющихся решениями соответствующих проксимальных неравенств типа Гамильтона — Якоби [1, 2]. Рассматривается импульсная управляемая система (D)

$$dx(t) = f(t, x(t), u(t))dt + G(t, x(t))\pi(\mu), \quad (1)$$

$$u(t) \in U \text{ п.в. на } T, \quad \pi(\mu) \in \mathcal{W}(T, K). \quad (2)$$

Здесь $T = [a, b]$ — заданный отрезок времени; U — компактное подмножество пространства R^r ; K — выпуклый замкнутый конус в R^m ; $x(\cdot) \in BV(T, R^n)$. Через u и $\pi(\mu)$ обозначены обычное и импульсное управления соответственно. Обычное управление описывается измеримой существенно ограниченной функцией $u(\cdot)$ со значениями в U . Множество импульсных управлений $\mathcal{W}(T, K)$ состоит из элементов $\pi(\mu) := (\mu, \gamma(\mu))$, где μ — K -значная ограниченная борелевская мера на T , а $\gamma(\mu)$ — набор $\{d_s, \omega_s(\cdot)\}_{s \in S}$, компоненты которого удовлетворяют условиям:

(а) S — не более, чем счетное подмножество T ; $S \supseteq S_d(\mu) := \{s \in T \mid \mu(\{s\}) \neq 0\}$;

(б) $\forall s \in S \quad d_s \geq 0, \quad \omega_s : [0, d_s] \rightarrow co K_1,$

$$d_s \geq \|\mu(\{s\})\|, \quad \int_0^{d_s} \omega_s(\tau) d\tau = \mu(\{s\});$$

(в) $\sum_{s \in S} d_s < \infty.$

Здесь $K_1 = \{v \in K \mid \|v\| = 1\}$; $\|v\| = \sum_{j=1}^m |v_j|$; $co A$ — выпуклая оболочка множества A . Понятие решения (D) введено в [1] и является обобщением соответствующего понятия из [3].

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 14-01-00699).

Список литературы

- [1] Дыхта В. А., Самсонык О. Н. Неравенства Гамильтона — Якоби и вариационные условия оптимальности / Иркутск: Изд. Иркут. гос. ун-та, 2015. — 150 с.
- [2] Дыхта V. A., SAMSONYUK O. N Some applications of Hamilton-Jacobi inequalities for classical and impulsive optimal control problems // Eur. J. Control. — 2011. — Vol. 17, P. 55–69.
- [3] Миллер Б. М., Рубинович Е. Я. Оптимизация динамических систем с импульсными управлениями / М.: Наука, 2005. — 429 с.

2.13. Гиниятуллина О. Л. Применение данных Sentinel-2A в задачах геоэкологического мониторинга горнодобывающих регионов

Запуск космического аппарата Sentinel-2A позволяет получать новые гиперспектральные снимки высокого разрешения в видимом спектре и среднего разрешения в инфракрасном диапазоне. В докладе рассматривается опыт применения данных с оптического сенсора Sentinel-2A для оценки геоэкологического состояния района с активной добычей угля на территории Кузнецкого угольного бассейна. Отмечены основные моменты и особенности обработки снимков при решении определенных задач мониторинга. Особое внимание уделено применению различных вегетационных индексов при оценке состояния биомассы в угледобывающем районе, особенно в зоне инфракрасного склона. Приводятся результаты обработки снимков за лето 2016 г. Дается научное обоснование применимости данных Sentinel-2A для задач геоэкологического мониторинга.

2.14. *Гладких А.С.* Использование векторного представления слов для выявления семантических полей в русских поэтических текстах

Лексика — это словарный состав языка или произведений какого-либо автора. Если рассматривать лексику как целостный системный объект, то имеет место построение взаимосвязанных ее подсистем. Подсистемами в данном случае являются семантические поля. Семантическое поле — термин, применяемый в лингвистике для обозначения совокупности языковых единиц, объединенных каким-то общим семантическим признаком. Таким образом, в теории семантических полей лежит представление о существовании разбиения языковых единиц на семантические группы.

Целью работы является выявление семантических полей в русских поэтических текстах с использованием векторного представления слов.

Для достижения поставленной цели были рассмотрены именно word2vec представления [1], в виду их относительно высокой скорости обучения и множества различных модификаций. В ходе работы первым делом была изучена работа word2vec и было проанализировано влияние параметров word2vec на результирующее векторное представление, а также его модификации. Следующей задачей стоял анализ алгоритмов кластеризации, применимых к векторному представлению. В результате был выбран алгоритм OPTICS, с помощью которого были построены кластеры слов. Они представляют собой непересекающиеся группы языковых единиц, являющиеся искомыми семантическими полями.

В результате было предложено решение задачи выявления семантических полей на основании кластеров слов, полученных благодаря векторному представлению. Данное решение не зависит от тематики и языка текстов, что позволяет использовать его в различных областях.

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

Список литературы

- [1] MIKOLOV T., CHEN K., CORRADO G., DEAN J. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space / URL: <http://arxiv.org/pdf/1301.3781v3.pdf>.

2.15. *Городилов М.А., Долговесов Б.С., Шадрин М.Ю.* Система отображения и регистрации аудиовизуальной информации для тренажерных комплексов

В работе рассматривается подход к созданию систем отображения с функцией непрерывной синхронной записи, применяемых в тренажерных комплексах для повышения объективности оценки и эффективности тренировок.

В отличие от систем видеонаблюдения, которые используются с 1960х гг. [1], в тренажерных комплексах требуется просматривать записи регулярно, в

том числе одновременно с процессом записи. Кроме нескольких видеосигналов высокой четкости и аудиосигналов, требуется хранить дополнительную информацию о событиях, которая передается по сети Ethernet от вычислительной системы тренажера. Была предложена система, объединяющая в себе функции многооконного видеопроцессора [2], позволяющего выводить любую комбинацию из входных источников с наложением титров, и видеорегистратора, с возможностью циклической непрерывной записи до восьми видеопотоков высокой четкости в формате H264.

Особенностью системы является использование ресурсов графических акселераторов для кодирования, декодирования видео и формирования финального изображения. Для реализации функций кодирования, декодирования применяется библиотека Microsoft Media Foundation [3]. В качестве средства программирования логики системы использован декларативный язык QML, который входит в состав библиотеки QtQuick.

Был использован особый формат хранения записей, который применяется в системах многоканальной записи Forward Goalkeeper [4], позволяющий эффективно использовать стандартные накопители на жестких магнитных дисках для одновременной записи и чтения из произвольного места архива.

Список литературы

- [1] ХАУСТОВ С.Н. Современные системы видеонаблюдения, этапы развития // Вест. Воронежского ин-та МВД России. — 2000. — № 1.
[2] ДОЛГОВЕСОВ Б.С., ГОРОДИЛОВ М.А., ФАТЬЯНОВ Ф.В. Система обработки и отображения визуальной информации для тренажерных комплексов // Матер. XXV Междунар. науч. конф. «GraphiCon-2015». — 2015 г. — С. 244–246.
[3] POLINGER A. Developing Microsoft Media Foundation Applications / Microsoft Press, 2011.
[4] Описание Forward Goalkeeper / URL: <http://www.softlab.tv/forward/replay.html>.

2.16. *Горский С.А.* Автоматизация научных расчетов в ИК Orlando

Проведенный анализ тенденций развития технологий распределенных вычислений [1,2] позволяет сделать вывод, что происходит активное развитие промежуточного ПО, позволяющего динамически интегрировать распределенные разнородные ресурсы в виртуальную исполнительную среду и предоставляющего пользователям возможности прозрачного использования этой среды. Наличие развитого ПО, реализующего технологии организации расчетов в распределенной вычислительной среде, и эффективных алгоритмов управления вычислениями [3] является основой для массовых параллельных и распределенных приложений.

Однако анализ методов и средств организации такого рода вычислений выявил ряд проблем научно-

технического характера: разработка распределенных и параллельных приложений выполняется зачастую «точечно», в привязке к узкому классу задач из конкретной предметной области; создаваемые приложения плохо интегрируются вследствие использования различного промежуточного ПО, форматов данных и протоколов их передачи, а также использования разных моделей программирования приложений, планирования вычислительных процессов и загрузки вычислительных ресурсов; круг потенциальных пользователей таких приложений достаточно ограничен, что обусловлено сложностью их освоения и применения прикладными специалистами для решения своих задач.

Это обуславливает возвращение интереса к пакетной проблематике, но вместе с тем требует реконструировать старые и определить новые средства и методы организации вычислений в пакетах прикладных программ как системах модульного программирования. Доклад посвящен возможностям разрабатываемого инструментального комплекса Orlando и его применению для организации распределенных вычислений.

Список литературы

- [1] ШАМАКИНА А. В. Обзор технологий распределенных вычислений // Вест. Южно-Уральского гос. ун-та. — Сер.: Вычисл. мат. и информатика. — 2014. — Т. 3, № 3, С. 51–85.
- [2] TALIA D. Workflow Systems for Science: Concepts and Tools // ISRN Software Engineering. — Vol. 2013. — URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/404525>.
- [3] ТОПОРКОВ В. В., ЕМЕЛЬЯНОВ Д. М. Экономическая модель планирования и справедливого разделения ресурсов в распределенных вычислениях // Программирование. — 2014. — Т. 40, № 1, С. 54–65.

2.17. Григорьев А. В. Применение методов семантической паутины для статического анализа кода

В докладе представлен новый подход к статическому анализу кода с применением технологий семантической паутины. Методы статического анализа кода направлены на исследование исходного кода программы и нахождение участков, потенциально приводящих к ошибке во время исполнения [1, 2].

В докладе представлен метод представления исходного кода программы в виде базы знаний, разработанной с применением языка семантической паутины OWL (онтологии). Разработанная математическая модель, в совокупности с методом осуществления логического вывода, позволит обнаруживать как типичные ошибки работы программ (доступ к неинициализированному переменным; переполнение буфера; переполнение стека; попадание в бесконечные циклы) [3], так и искать новые типы ошибок и несоответствий (нахождение алгоритмов, используемых в коде и определение их асимптотики; предложение других алгоритмов, обладающих меньшей

вычислительной сложностью).

Исходный код программы предлагается представлять в виде набора логических аксиом и утверждений, которые описывают программу и известные алгоритмы. Алгоритмы будут представлены в виде набора логических аксиом (terminological box), которые будут показывать порядок следования операторов (цикла, логических и др.). Сама программа будет представлена в виде набора утверждений (assertional box). Осуществление операции логического вывода (reasoning), в частности операции классификации, позволит находить участки кода, соответствующие заданным в базе знаний алгоритмам, и предлагать замену на другие алгоритмы, имеющие меньшую асимптотику.

Список литературы

- [1] GOMES I., MORGADO P., GOMES T., MOREIRA R. An overview on the static code analysis approach in software development / Tech. rep. — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [2] McLEAN R. K. Comparing Static Security Analysis Tools Using Open Source Software // Proc. IEEE Sixth Intern. Conf. on Software Security and Reliability Companion (SERE-C). — 2012. — P. 68–74.
- [3] BESSEY A., BLOCK K., CHELF B. ET AL. A few billion lines of code later: using static analysis to find bugs in the real world // Commun. ACM. — 2010. — Vol. 53, N 2, P. 66–75.

2.18. Данеева И. А. Автоматическое разрешение местоименной анафоры при помощи алгоритма FRiS-Tax

Данная работа посвящена исследованию различных методов разрешения местоименной анафоры, являющейся одной из задач извлечения информации. Рассматривается подход с использованием алгоритма *FRiS – Tax* [1], в основу которого положена функция конкурентного сходства. Анафора — это отношение между языковыми выражениями, состоящее в том, что в смысл одного выражения (анафора) входит отсылка к другому выражению (его антецеденту), которое, как правило, ему предшествует. Задача разрешения местоименной анафоры сводится к задаче распознавания правильных пар «анафора — антецедент» [2]. Рассматриваемый метод ее решения состоит из нескольких этапов.

1. Поиск местоименной анафоры d_i .
2. Поиск гипотетических антецедентов s_j , согласующихся с анафорой по атрибутам: морфологические и синтаксические признаки. Область поиска ограничена заранее заданной величиной.
3. Выбор наиболее вероятного антецедента при помощи алгоритма кластеризации. Дано множество S гипотетических антецедентов, представленных в виде двоичных последовательностей. Необходимо разбить множество на непересекающиеся кластеры S_1, S_2, \dots, S_k , таким образом, что-

бы величина D была минимальна:

$$D = \sum_{i=1}^K \sigma_i^2, \quad \sigma_i^2 = \frac{1}{n_i} \sum_{x \in S_i} |X_i - x|^2.$$

4. Выбор наиболее вероятного антецедента при помощи алгоритма *FRiS – Tax*. Когда множество столпов, т.е. центральных объектов кластера $C = c_1, c_2, \dots, c_k$, выбрано, то все объекты множества S определяются между столпами так, чтобы величина конкурентного сходства $F_{c_{s1}}^*$ со «своими» столпами была максимальной:

$$F_{c_{s1}}^*(s) = \frac{m(s, c_{s1}) - m^*}{m(s, c_{s1}) + m^*},$$

где мера сходства m между двумя объектами s_1 и s_2 определяется, как

$$m : S \times S \rightarrow [0, 1],$$

$$m(s_1, s_2) = \sum b_i m_i(s_1, s_2),$$

где b_i — весовые коэффициенты, причем $\sum b_i = 1$.

5. Выбираем антецедент с наибольшей степенью совпадения по атрибутам.

Проведены экспериментальные исследования, показывающие эффективность метода. Одним из главных преимуществ метода является возможность распараллеливания. Также, обучение на полученной выборке показало повышение точности на величину от 0.1 % до 5.6 %.

Список литературы

- [1] Загоруйко Н.Г., Барахнин В.Б., Борисова И.А., Ткачёв Д.А. Кластеризация текстовых документов из электронной базы публикаций алгоритмом FRiS-Tax // Вычисл. технологии. — 2013. — Т. 18, № 6, С. 62–74.
- [2] Мальковский М.Г., Старостин А.С., Шиллов И.А. Метод разрешения местоименной анафоры в процессе синтаксического анализа // Сборник науч. трудов SWorld по мат. межд. н.-п. конф. — 2013. — Т. 11, № 4, С. 41–49.

2.19. Долгая А.А., Фереферов К.А., Герус А.И. Информационная система анализа катастрофических событий

Для проведения исследования закономерностей катастрофических природных и социальных событий авторским коллективом под руководством А.В. Викулина на основании литературных данных был собран большой статистический материал [1], включающий в себя данные о сильных природных катастрофах и значимых социальных явлениях. Список содержит около 2400 событий, произошедших в течение последних 36 веков.

В целях дальнейшего анализа была проведена классификация всей совокупности данных по трем параметрам: по типу события, интегральной характеристике, описывающей «силу» события, и масштабному уровню (территориальному «охвату» события). Для каждого события также указан год, место, краткое описание и источник информации.

Все события разделены на природные катастрофы (например, землетрясения, извержения) и социальные явления (например, войны, эпидемии).

Для построения шкалы «силы» катастрофических событий за основу была взята логарифмическая шкала (J), предложенная в [2]. Эта шкала основывается на социально значимых параметрах: материальный ущерб Q , в \$, и число человеческих жертв P . Максимальная «сила» события — $J = I$, минимальная, рассматриваемая в работе — $J = III$.

Для описания территориального масштаба влияния событий были определены 5 масштабных уровней (континент, регион, страна, область и город).

Для ведения и анализа списка катастроф авторами была разработана реляционная база данных и информационно-вычислительная система (ИВС) «NaSCA» (Natural and Social Catastrophes Analysis). Она позволяет вести список событий, сортировать и фильтровать их по различным критериям, строить график повторяемости событий по баллу J , отображать «пострадавшие» страны на карте, исследовать временные закономерности катастроф и экспортировать результаты в Microsoft Excel.

С помощью созданной ИВС было проведено исследование характеристик совокупностей природных и социальных катастроф, которое позволило установить их свойства цикличности, группируемости, а также взаимодействие природных и социальных явлений между собой. Все эти результаты позволили сформулировать концепцию единого геосоциального процесса [3], которая имеет в настоящее время все увеличивающуюся социальную значимость.

Следующим этапом развития системы является разработка web-интерфейса для организации многопользовательского доступа к накопленным данным о природных и социальных катастрофах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-37-00229).

Список литературы

- [1] Викулин А.В., Викулина М.А., Семенец Н.В. Концепция катастрофизма в геологии и социуме // Система «Планета Земля» / М.: ЛЕНАРД, 2014. — С. 243–246.
- [2] Родкин М.В., ШЕБАЛИН Н.В. Проблемы измерения катастроф // Изв. РАН. — 1993. — Сер.: геогр., № 5, С. 106–116.
- [3] Викулин А.В., Викулина М.А., Долгая А.А. Геосоциальный процесс // Система «Планета Земля»: 200 лет священному союзу / М.: ЛЕНАРД, 2015. — С. 507–521.

2.20. Дородных Н.О., Грищенко М.А., Юрин А.Ю.
Прототипирование продукционных
баз знаний на основе концептуальных
моделей

Сложность и трудоемкость процесса разработки экспертных систем (ЭС) обусловлена, главным образом, сложностью и трудоемкостью этапа разработки баз знаний (БЗ), который включает задачи по формализации предметных знаний и их описанию на определенном языке представления знаний. Эффективность решения данных задач может быть повышена благодаря использованию концептуальных моделей, в частности, диаграмм классов UML, в качестве результатов формализации [1].

В настоящее время существует достаточно ограниченный набор программных средств, обеспечивающих решение данной задачи, что обуславливает разработку собственного программного инструментария. Personal Knowledge Base Designer [2] представляет собой специализированный редактор для разработки и тестирования продукционных БЗ, в частности, для CLIPS (C Language Production System), обеспечивающий:

1. интеграцию с CASE-средствами IBM Rational Rose и StarUML, в части импорта концептуальных моделей (диаграмм классов UML);
2. создание элементов продукционных БЗ (шаблонов фактов и правил, а также фактов и правил) непрограммирующим пользователем, благодаря использованию либо набора подпрограмм-мастеров, либо предварительно подготовленных шаблонов фактов и правил;
3. поддержку авторской графической нотации – Rule Visual Modeling Language (RVML) [3] для визуального представления продукций. Что позволяет более наглядно отобразить причинно-следственные отношения и учесть некоторые особенности CLIPS (например, важность правил и коэффициенты уверенности).

Используя данное средство, была произведена оценка эффективности процесса разработки продукционных БЗ по временному критерию. В оценке участвовали 60 студентов Института кибернетики им. Е.И. Попова Иркутского национального исследовательского технического университета (ИрНИТУ). Было проанализировано 20 тестовых вариантов (примеров) разработки БЗ статических экспертных систем, при этом разработка была произведена 3 способами с использованием:

1. CASE-средства IBM Rational Rose и Personal Knowledge Base Designer;
2. IBM Rational Rose и ClipsWin;
3. ClipsWin, но без использования визуального моделирования.

Анализ результатов показал, что эффективность

разработки БЗ с использованием результатов концептуального моделирования (способ 1) может быть повышена в среднем на 60.3 % по сравнению со способом 2 и на 48.2 % по сравнению со способом 3 за счет автоматической кодогенерации программных кодов на основе визуальных моделей.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты № 15-07-03088, 15-37-20655, 16-37-00041).

Список литературы

- [1] Дородных Н. О., Юрин А. Ю. Использование диаграмм классов UML для формирования продукционных баз знаний // Программная инженерия. — 2015. — № 4, С. 3–9.
- [2] PKBD. Personal Knowledge Base Designer / URL: <http://www.knowledge-core.ru/index.php?p=pkbd>.
- [3] RVML. Rule Visual Modeling Language / URL: <http://www.knowledge-core.ru/index.php?p=rvml>.

2.21. Егоров Ю.А. Модификация алгоритма
Ульмана для многопроцессорных
систем

Задача изоморфизма подграфов находит применение в таких областях, как анализ социальных сетей, биоинформатика, анализ транзакций в финансовых сетях, обнаружение мошеннической деятельности и др. Задача относится к классу NP-полных задач, ее решение требует трудоемких вычислений, параллельная реализация которых позволяет сократить время решения. Целью исследования является разработка решения задачи изоморфизма подграфов для многопроцессорных систем. При решении задачи изоморфизма подграфов была реализована модификация алгоритма Ульмана [1]. В качестве модели параллельных вычислений была выбрана модель акторов [2], реализованная в языке Erlang. Реализованы два шаблона параллельных вычислений:

1. с помощью дерева акторов: каждый актор выполняет одно задание и порождает конечное количество новых акторов;
2. с помощью пула акторов: заранее заданное количество акторов выполняют задания, хранящиеся в общей очереди. В ходе работы актор может порождать новые задания, которые складывают в общую очередь.

Для оценки производительности разработанных решений был проведен эксперимент, в результате которого установлено, что параллельные решения показывают одинаковую эффективность и, по сравнению с последовательным решением, дают ускорение, в среднем, в 3.5 раза для однотипных графов. Эксперимент проводился на компьютере с процессором Intel Core i7-3770K CPU (4 ядра по 2.2 ГГц). Полученный результат связан со способностью виртуальной машины Erlang эффективно балансировать нагрузку между вычислительными узлами. Следовательно, при реализации решения задачи

изоморфизма подграфов на данной платформе выбор шаблона параллельных вычислений не имеет существенного значения.

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

Список литературы

- [1] ULLMANN J.R. An Algorithm for Subgraph Isomorphism Problem // J. Assoc. for Comp. Machinery. — 1976. — Vol. 23, N 1, P. 31–42.
- [2] Erlang/OTP 18 / URL: <http://erlang.org/doc>.

2.22. Есипенко С.П. Проектирование модульной системы отслеживания позы человека на видеоизображении

Работа посвящена проектированию модульной системы отслеживания позы человека на видеоизображении. Система применяется, когда изображение получено с одной камеры, то есть для задачи Monocular Human Pose Tracking [1], однако многие компоненты и архитектурные решения могут быть применены для смежных задач (изображения с нескольких камер и/или датчиков глубины и пр.). Основным назначением разрабатываемой системы является исследование различных подходов к решению задачи отслеживания позы человека, а также тестированию различных моделей, используемых при решении.

За основу взята работа [2], посвященная модульной системе отслеживания позы человека с помощью различных модификаций алгоритма фильтрации частиц [3]. Стоит отметить, что основное внимание в этой работе уделяется непосредственно созданию модульного алгоритма фильтрации частиц, а вопросы моделирования и проектирования других подсистем рассматриваются поверхностно.

В настоящей работе рассматриваются вопросы проектирования всей системы отслеживания позы человека на видеоизображении, поэтому много внимания уделяется декомпозиции, моделированию и архитектуре. Решение задачи разбивается на несколько ключевых этапов, каждый из которых в итоге выделяется в отдельный настраиваемый модуль. Задача отслеживания решается с помощью алгоритма фильтрации частиц, однако большинство компонентов и моделей не зависят от конкретного алгоритма. При моделировании выделяются такие модели, как модель скелета, динамическая модель движения скелета, модель изображения частей тела и модель камеры. На модели накладывается ряд ограничений, которые позволяют сделать алгоритм решения задачи достаточно абстрактным, а проектируемую систему — гибкой. Помимо основного решения, рассматриваются вспомогательные подсистемы: подсистема получения и предварительной обработки кадров и подсистема тестирования.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Крючкова Е. Н.

Список литературы

- [1] SIDENBLADH H., BLACK M., FLEET D. Stochastic Tracking of 3D Human Figures Using 2D Image

Motion // Proc. European Conf. on Comp. Vision. — Dublin, 2000. — P. 702–718.

- [2] WANG P., RENG J.M. A Modular Approach to the Analysis and Evaluation of Particle Filters for Figure Tracking // IEEE Proc. Comp. Soc. Conf. on Comp. Vision and Patt. Recogn. — 2006. — P. 790–797.
- [3] ISARD M., BLAKE A. CONDENSATION — conditional density propagation for visual tracking // Intern. J. Comp. Vision. — 1998. — Vol. 29, N 1, P. 5–28.

2.23. Жарков М.Л. О моделировании транспортно-пересадочного узла с использованием многофазных систем массового обслуживания

В работе строится модель транспортно-пересадочного узла мегаполиса, в который поступают несколько различных транспортных потоков, при этом заявки (пассажиры) могут прибывать группами. Данная модель представлена в виде трехфазной системы массового обслуживания с конечными очередями на каждой фазе.

Многофазной системой называется цепь из систем массового обслуживания (фаз), поступившая заявка последовательно проходит обслуживание в каждой фазе [1]. В системе предусмотрены блокировки каналов первой и второй фаз при отсутствии свободных мест в очередях последующих фаз.

Для описания входящих потоков используется модель ВМАР-потока [2]. Пусть имеется цепь Маркова (ЦМ) v_t (управляющий процесс) с непрерывным временем и конечным пространством состояний $\{0, 1, \dots, W\}$. Время пребывания ЦМ в состоянии v задано экспоненциальным распределением с параметром $\lambda_v, v = \overline{0, W}$. После завершения времени пребывания в состоянии v , ЦМ с вероятностью $p_{v,r}^{(k)}$ перейдет в состояние $r, r = \overline{0, W}$ и прибудет группа размера $k \geq 0$. Вероятности $p_{v,r}^{(k)}$ удовлетворяют условию нормировки

$$\sum_{k=1}^{\infty} \sum_{r=0}^W p_{v,r}^{(k)} + \sum_{r=0, r \neq v}^W p_{v,r}^{(0)} = 1, \quad v = \overline{0, W}.$$

Данная модель потока на транспорте начала применяться лишь с недавнего времени [3].

В терминах теории массового обслуживания [1], модель системы запишется

$$ВМАР/M^{X_{s1}}/n_1/m_1 \rightarrow /M/n_2/m_2 \rightarrow /M^{X_{s3}}/n_3/m_3.$$

Здесь X_{s1}, X_{s3} — размер групп заявок, выбранных на обслуживание в первой и третьей фазах; m_1, m_2, m_3 — длина очереди; n_1, n_2, n_3 — количество каналов обслуживания на соответствующей фазе.

В докладе представлены математическое описание и пример объединения двух различных потоков с помощью модели ВМАР-потока, рекуррентные формулы и численный метод расчета стационарных вероятностей многофазных системы с группо-

вым поступлением и при наличии блокировок. В дополнении к математической модели создана и программно реализована имитационная модель.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (гранты № 14-07-00222, 16-06-464).

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] Журавская М. А., Казаков А. Л., Жарков М. Л., Парсюроева П. А. Моделирование пассажиропотоков в современных транспортно-пересадочных узлах мегаполиса на основе немарковской системы массового обслуживания // Транспорт Урала. — 2015. — Т. 46, № 3, С. 17–23.

2.24. Кабанов А. А., Худобердин И. Р. Разработка алгоритмов и методики комплексного анализа данных геофизического мониторинга

Геодинамический мониторинг является обязательным элементом государственной системы безопасности в сейсмически активных регионах [1–3]. Научно-методические основы геодинамического мониторинга исторически развиваются в рамках РАН. Кроме мониторинговых сетей РАН, на территории РФ функционируют геодинамические полигоны различных ведомств (Минобороны, МЧС РФ, МПР, Минэнерго, Минатом и т.д.). Начиная с 2000 года получили развитие и региональные наблюдательные геодинамические сети в различных субъектах федерации (Красноярский край, Кемеровская область, республика Тыва и др.). При этом, используются как сейсмологические сети, так и комплексные сети, регистрирующие различные геолого-геофизические параметры.

В связи с многообразием энергетических процессов в геологической среде, объективно необходима регистрация (мониторинг) различных по физической природе методов. Таким образом, комплексный подход к организации геодинамического мониторинга является своеобразным «стандартом» МПР РФ в отличии от «моносетей» геодинамического мониторинга различных ведомств.

Вместе с тем, несмотря на длительное использование комплекса геолого-геофизических методов, применяемых на геодинамическом мониторинге, нормативно-методическая основа упомянутого комплекса не разработана. В основном регламентированы такие виды геодинамического мониторинга как: ГГД мониторинг; разработаны нормативные документы для организации и эксплуатации сейсмологических сетей в системе РАН; электромагнитный мониторинг, в частности на основе регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ), осуществляемого пока на основе

авторских разработок; мониторинг радона и других газов, осуществляемый также на основе разработок различных исследователей.

За последние 10 лет накоплен значительный экспериментальный материал геолого-геофизических методов, используемых на геодинамических полигонах МПР РФ. В настоящем исследовании представлены разработки алгоритмов и методики оценки геодинамической опасности комплексом геолого-геофизических методов (ГГД поля, сейсмология, ЕИЭМПЗ, эмиссия радона) на геодинамических полигонах в Сибири и на Дальнем востоке в 2007–2016 годах для оценки изменения НДС геологической среды и прогноза сейсмических событий.

Список литературы

- [1] Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР / М.: Наука, 1982. — 272 с.
- [2] ГОСТ Р 22.1.06-99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов. Общие требования. Введён 2000-01-01 / М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1999. — 25 с.
- [3] ГОСТ Р 22.1.01-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Основные положения. Введён 1997-01-01 / М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1995. — 10 с.

2.25. Канашкин А. А., Епихин А. М., Епихин А. А. Программная библиотека распознавания паттернов двигательной активности в реальном времени

В работе описан результат разработки программной библиотеки, предназначенной для создания приложений с человеко-машинным интерфейсом (НМИ), основанным на считывании и распознавании жестов мелкой моторики рук. В разработанной библиотеке реализованы следующие функции: считывание жестов с использованием веб-камеры, выявление в считанных жестах определенных паттернов тонкой моторики рук, настройка отображения множества паттернов в множество команд управления компьютером, вызов команд управления при распознавании паттерна, поставленного ей в соответствие.

Библиотека предназначена для использования совместно с вебкамерой, имеющей, помимо обычного оптического, инфракрасный сенсор с Z-каналом глубины. Отдельной составляющей библиотеки является группа классов, реализующих алгоритмы формирования правил отображения движения руки в команды управления компьютером.

В работе описана реализация кинематической модели руки и алгоритмы отображения информации о движении руки, полученной в результате предварительной обработки видеопотока с использованием специализированной веб-камеры и поставляемого с ней комплекта программного обеспечения, в кинематическую модель руки.

Испытание библиотеки производилось с использованием веб-камеры Intel RealSense и комплекта SDK, входящего в комплектацию к ней. Эффективность библиотеки была продемонстрирована на простых командах управления компьютером при выполнении заданной группы жестов.

2.26. Каргов П.Н. Реализация операций нечеткой логики в базисе ПЛИС

При решении широкого круга прикладных задач управления и контроля часто требуется обработка неточных, неполных или слабо формализованных данных. Перспективным методом решения указанных задач является применение аппарата нечетких множеств и нечеткой логики.

В настоящее время активно проводятся исследования практических приложений нечеткой логики, о чем свидетельствует появление многочисленных публикаций [1], посвященных нечетким контроллерам (НК)-устройствам, в которых реализованы ее алгоритмы. Построение нечетких контроллеров может быть выполнено на основе микропроцессорной техники общего либо специального назначения. Однако, более перспективным представляется аппаратное воплощение НК в элементном базисе ПЛИС. Для сокращения времени разработки и обеспечения возможности верификации на ранних стадиях проектирования нечеткого контроллера на ПЛИС целесообразно разработать библиотеку готовых технических решений, называемых IP-блоками. В алгоритмах нечеткого контроллера задействованы, как известно [2], T - и S -нормы, причем чаще всего их представляют операторы \max и \min . Таким образом, формирование IP-блоков, реализующих указанные операторы, является актуальной задачей.

Данная работа посвящена построению с помощью различных алгоритмов IP-блоков для реализации операций \max и \min над 32-разрядными двоичными числами и исследования характеристик аппаратных воплощений этих блоков на основе ПЛИС.

В ходе работы получены VHDL-описания IP-блоков воспроизводящие операции \max и \min . Проведено моделирование данных VHDL-описаний в среде ISIM CAAP Xilinx ISE Design Suite для FPGA XC6SLX-3CSG225 серии Spartan6. Показано различие полученных IP-блоков, в части использования ими аппаратных ресурсов и быстродействия.

В результате был найден IP-блок с наилучшими параметрами, в котором максимальная задержка распространения сигнала составила 85 нс, а число использованных 6-входовых функциональных генераторов LUT — 90. В рамках последующей научной работы планируется создание IP-блоков, реализующих операции фаззификации, дефаззификации, вывода, базы правил для нечеткого контроллера в базисе ПЛИС.

Научный руководитель — д.т.н. Андреев Д.В.

Список литературы

- [1] ПЕГАТ А. Нечеткое моделирование и управление [Пер. с англ.] / М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2013. — 798 с.
- [2] РУТКОВСКАЯ Д., ПИЛИНСКИЙ М., РУТКОВСКИЙ Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 452 с.

2.27. Кашинцев М. Балансировка нагрузки в распределенной системе гидродинамического моделирования

Данная исследовательская работа посвящена вопросу балансировки нагрузки в распределенной системе, описанной в [1], главной задачей которой является гидродинамическое моделирование нефтегазовых месторождений.

Задача допускает разбиение моделируемых данных и организацию параллельных вычислений в распределенной системе, поэтому ее можно разбить на независимые подзадачи различной трудоемкости. Отсюда возникает вопрос оптимального распределения независимых задач между вычислительными узлами.

В работе приводится сравнительный анализ трех алгоритмов, позволяющих частично или полностью решить данную задачу:

1. эвристический алгоритм, предложенный автором доклада, основной идеей которого является очередное назначение наиболее трудоемких задач наименее загруженному процессу;
2. алгоритм, основанный на перестановке заданий между процессами [2];
3. алгоритм, основанный на поиске по критерию стоимости, являющийся упрощенной версией алгоритма для случая с зависимыми задачами, представленного в [3].

Сравнение алгоритмов происходит по критериям скорости работы, корректности и сложности в реализации.

В ходе исследования первый и второй алгоритмы показали высокую скорость работы и приемлемый уровень корректности, в связи с чем было принято решение о проведении тестирования этих алгоритмов в составе целевой системы. Помимо этого, определено направление возможного улучшения третьего алгоритма по показателю скорости работы.

Список литературы

- [1] САМБОРЕЦКИЙ С.С. Проектирование и разработка распределенной системы для итерационного сопряжения секторных гидродинамических моделей // Тр. Конф. «Суперкомпьютерные дни в России». — М.: МГУ, 2015. — С. 641–646.
- [2] ЕФИМКИН К.Н. Эвристический алгоритм распределения заданий. — Препр. ИПМ им. М.В. Келдыша. — 2009. — № 42. — 16 с.
- [3] CHIEN-CHUNG S., WEN-HSIANG T. A Graph Matching Approach to Optimal task assignment in Distributed computing systems using a Minimax Criterion // IEEE Trans. Comp. — 1985. — Vol. 34, N 3, P. 197–203.

2.28. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О. Имитационная модель анализа процессов складской логистики

Цель данной работы — повышение эффективности функционирования объекта складской логистики (ОСЛ) на примере склада авиазапчастей. В качестве показателей эффективности рассматриваются показатели, принятые в теории массового обслуживания, характеризующие производительность и загрузку объекта. Повышение эффективности функционирования обеспечивается за счет оптимального распределения людских ресурсов по технологическим зонам объекта и за счет совершенствования алгоритмов логистических процессов на основе анализа показателей эффективности. Для достижения цели разработан программно-аналитический комплекс моделей. Рассмотрим имитационную модель анализа проблем (ИМАП) [1], которая является наиболее важной составляющей программно-аналитического комплекса.

ИМАП — имитационная модель операционных процессов зоны приемки на детальном уровне представления, разработанная с использованием гибридного подхода, сочетающего дискретно-событийное, агентное моделирование и объектно-ориентированное программирование (ООП). ИМАП разработана средствами инструментальной среды Anylogic. Разработка модели осуществлялась в два этапа: на первом этапе выполнено моделирование входного потока, на втором этапе моделирование операционных процессов.

Для моделирования входного потока деталей используется агентный подход, поскольку он позволяет моделировать неординарный и неоднородный поток, учесть способ доставки, приоритетность груза, вид упаковки, технологию обработки, сопроводительную документацию. Грузопоток в процессе обработки на разных стадиях этапа приемки претерпевает «расщепление» от более крупных групп к более мелким и представляется цепочкой объектов: Грузовик → Поставка → Документация → Паллета → Коробка → Деталь. Каждый объект моделируется агентами соответствующего типа. Каждый тип агента реализуется соответствующим классом-агентом, который описывается диаграммой поведения и множеством параметров. Поведенческая диаграмма реализуется средствами Anylogic, базирующимися на языке UML. Продукции кодируются на языке Java с использованием ООП.

ИМАП моделирует в динамике операционные процессы зоны приемки, формализованные на структурно-функциональном уровне и представленные в виде кросс-функциональных диаграмм. Для реализации операционных процессов склада на детальном уровне используются дискретно-событийный и объектно-ориентированный подходы. С каждым типом агентов входного потока деталей

связана последовательность технологических действий, которые сгруппированы в процессы.

Разработана оригинальная имитационная модель этапа приемки, позволяющая управлять низкоуровневыми технологическими процессами обработки, оценивать альтернативы, вырабатывать рекомендации по модернизации процессов. Программная имитация процессов складской логистики выполнена по модульному принципу с использованием объектно-ориентированного подхода, что позволяет интегрировать в рамках одной модели элементы, описываемые разнородными математическими схемами, такими как системы массового обслуживания, конечные автоматы, вероятностные автоматы и дифференциальные уравнения, а также обеспечивает возможность безболезненной реконфигурации программной архитектуры.

С помощью ИМАП решен ряд практических задач по анализу и реинжинирингу операционных процессов ОСЛ, а именно: решена задача оценки качества функционирования процессов «как есть» в зоне приемки для обработки потока деталей заданной интенсивности; определено оптимальное количество сотрудников зоны приемки складского комплекса; определена эффективная технология диспетчеризации грузов.

Список литературы

- [1] Киндинова В.В. Имитация, анализ и реинжиниринг операционных процессов складского комплекса авиазапчастей // Вест. Московского авиационного ин-та. — 2012. — Т. 19, № 3, С. 212–220.

2.29. Клименко А.И., Мустафин З.С., Матушкин Ю.Г., Лашин С.А. ГЭК 3Д: инструмент для многоуровневого моделирования пространственно распределённых микробных сообществ

Экологическое моделирование нового поколения базируется на принципах эмерджентности, предсказательности и структурного реализма [1]. В настоящее время приходит всё большее понимание того, что адекватные модели ответа организмов на меняющиеся условия среды требуют учёта микроэволюции, а также гетерогенности и динамичности самой среды. Также происходит сдвиг в сторону того, чтобы в качестве базовой единицы моделирования рассматривать не таксономические единицы, а функциональные типы. В связи с этим, прокариотические (микробные) сообщества являются подходящим модельным объектом для опробования такой многосторонней методики: с одной стороны, их сообщества имеют достаточно чётко локализуемую (но не тривиальную) пространственную структуру, оказывающую жизненно важное влияние на взаимодействие видов внутри сообщества, с другой — прокариоты демонстрируют чёткую подразделённость на функциональные гильдии в соответствии с типом используемых ими источников углерода и дру-

гих минеральных соединений, доноров и акцепторов электронов [2], и, наконец, микроэволюция прокариот происходит существенно быстрее и может наблюдаться в экспериментальных условиях [3].

Данный доклад посвящён программному комплексу Гаплоидный эволюционный конструктор 3D (ГЭК 3D) [4] (<http://evol-constructor.bionet.nsc.ru>), предназначенному для моделирования пространственно распределённых многовидовых бактериальных сообществ. Модель ГЭК 3D включает в себя описание генетического, метаболического, клеточного, популяционного и экологического уровней биологической организации. Наш программный комплекс позволяет моделировать процессы как высокого (проток, диффузия и хемотаксис), так и низкого уровня (мутации, горизонтальный перенос генов, регуляция экспрессии генов и метаболизм), совмещая различные подходы к математическому и компьютерному моделированию (агентно-ориентированное моделирование, ОДУ, клеточные автоматы и т.д.) в рамках одной модели. Мы предоставляем импорт SBML моделей в ГЭК 3D на уровне метаболизма, графический интерфейс и высокопроизводительные версии для различных платформ. В ряде опубликованных моделей ГЭК 3D (например, в [4]) было показано, что в микробных сообществах возникают тесные взаимосвязи между эволюционными и экологическими процессами, причём пространственная организация сообщества может предопределять, по какому из эволюционных сценариев пойдёт развитие сообщества.

Научный руководитель — к.б.н. Лашин С. А.

Список литературы

- [1] GRIMM V., BERGER U. Structural realism, emergence, and predictions in next-generation ecological modelling: Synthesis from a special issue // Ecological modelling. — 2016. — Vol. 326, P. 177–187.
- [2] ЗАВАРЗИН Г. А., КОЛОТИЛОВА Н. Н. Введение в природоведческую микробиологию / Книж. дом «Университет», 2001.
- [3] KASSEN R. Experimental evolution and the nature of biodiversity. — Greenwood Village, Colorado: Roberts and Company, 2001.
- [4] KLIMENKO A. I. ET AL. Bacteriophages affect evolution of bacterial communities in spatially distributed habitats: a simulation study // BMC Microbiology. — 2016. — Vol. 16, N 1, P. 31.

2.30. Климов А.В., Главный В.Г., Двойнишников С.В. Архитектура многопоточного программного обеспечения для лазерного доплеровского измерителя скорости

Лазерная доплеровская анемометрия является популярным методом диагностики газо-жидкостных потоков [1]. Бесконтактный характер измерения определяет актуальность применения данной методики в сложных, опасных для здоровья экспериментальных и промышленных условиях [2]. В подобных условиях чрезвычайно важным является полу-

чать информацию об измеряемом объекте в режиме реального времени. Данная задача осложняется тем, что поток частиц может достигать десятков тысяч единиц в секунду, которые требуется обработать в режиме реального времени и предоставить релевантную информацию экспериментатору.

В данной работе представлена архитектура программного обеспечения для лазерного доплеровского измерителя трехмерного вектора скорости гидродинамического потока, основанного на двух лазерных измерителях двухмерного вектора скорости потока. Архитектура включает в себя модули связи с измерительными приборами, модули вычисления скорости потока, графические модули, модули проведения эксперимента и экспорта в базу данных. Особое внимание уделено организации потоков исполнения и средствам их взаимодействия. Показано, что наиболее важную роль занимает качественное проектирование потоков связи с измерительными приборами, потоков вычисления компонент по сигналам приборов и потока вычисления синтезированных компонент. В результате разработанной программной архитектуры впервые обработанный поток данных с прототипа измерительного прибора превысил 30 тысяч единиц в секунду.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-08-00186).

Список литературы

- [1] MELEDIN V.G. Optoelectronic Measurements in Science and Innovative Industrial Technologies // Optoelectronic Devices and Properties (InTech). — 2011.
- [2] NAUMOV I.V., OKULOV V.L., MEYER K.E. ET AL. LDA-PIV diagnostics and 3D simulation of oscillating swirl flow in a closed cylindrical container // Thermophysics and Aeromechanics. — 2003.

2.31. Кондратьев Д.А. Расширение системы C-light символическим методом верификации финитных итераций

Верификация программ в дедуктивных системах традиционно основана на генерации условий корректности (УК). При разработке в ИСИ СО РАН дедуктивной системы C-light [1] встала задача разработки расширенных или специализированных версий генераторов УК. Для ее решения было решено использовать концепцию метagenерации УК [4]. Получая на вход логику Хоара, метagenератор автоматически порождает рекурсивный алгоритм генерации УК.

Концепция семантических меток [3] позволяет использовать саму процедуру генерации УК для построения их объяснений. Она основывается на использовании расширенных метками правил Хоара. Система C-light простым образом дополняется таким расширением с помощью метода метagenерации. Преимуществом нашего подхода перед исходным является введение иерархии на метках [1].

Проблема автоматической генерации инвариантов циклов является алгоритмически неразрешимой. Но для циклов специального вида она разрешима с помощью символического метода верификации финитных итераций [2]. Он заключается в том, что для таких циклов применяются специальные правила вывода, позволяющие отказаться от использования инварианта цикла. Они основываются на специальной функции замены, представляющей в символической форме действие цикла. Метод метagenерации позволил удобным образом расширить систему C-light такими правилами.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 15-01-05974).

Список литературы

- [1] Кондратьев Д. А. Расширение метagenерации условий корректности концепцией семантической разметки // Матер. Третьей Междунар. Науч.-практич. Конф. ТМРА-2015. — 2015. — С. 107–118.
- [2] Непомнящий В. А. Символический метод верификации финитных итераций над изменяемыми структурами данных // Программирование. — 2005. — № 1, С. 3–14.
- [3] DENNEY E., FISCHER B. Explaining Verification Conditions // LNCS, Proc. AMAST. — 2008. — Vol. 5140, P. 145–159.
- [4] MORICONI M., SCHWARTS R. L. Automatic Construction of Verification Condition Generators From Hoare Logics // LNCS, Proc. ICALP 8. — 1981. — Vol. 115, P. 363–377.

2.32. Кропотин А. А., Григорьев А. В., Ивашко А. Г. Онтологический подход выявления семантических конфликтов при интеграции реляционных баз данных

В работе впервые предложен основанный на применении математического аппарата дескрипционной логики подход семантического анализа интегрируемых концептуальных схем реляционных баз данных [1], который, в отличие от уже существующих подходов [2, 3], позволяет определять их структурные и семантические различия. Кроме того, предложен метод представления концептуальных схем реляционных баз данных в виде OWL-DL онтологий и их объединения таким образом, чтобы логический вывод позволял определять их несогласованность. Также в работе предложен реализующий разработанные методы и алгоритмы комплекс программ, который позволяет автоматизировать процесс семантического анализа интегрируемых концептуальных схем реляционных баз данных в рамках разработанного подхода.

Список литературы

- [1] Белошицкий Д. А. Интеграция данных в информационных системах [Электрон. ресурс] // Молодежный науч.-техн. вест. [Электрон. журн.]. — 2013.
- [2] БУБАРЕВА О. А. Модель, алгоритмы и программное обеспечение интеграции данных информационных систем на основе онтологий (на примере вуза) / Дис. ... канд. техн. наук. — 2014. — 137 с.

- [3] СЕМЕРХАНОВ И. А. Методы и алгоритмы автоматизированной интеграции информационных ресурсов на основе онтологического подхода / Дис. ... канд. техн. наук. — 2014. — 140 с.

2.33. Курако М. А. Алгоритмы аппроксимации данных геомониторинга специального вида

Работа посвящена решению задачи аппроксимации данных геомониторинга специального вида. Данные представляют собой записи наблюдений за очаговыми областями землетрясений и являются многомерными. Для решения указанной задачи предлагаются два подхода, основанные на аппроксимации тригонометрическими многочленами и многочленами Лежандра [1, 2].

Тригонометрические многочлены используются для аппроксимации данных, заданных на равномерной сетке. При этом задача сводится к вычислению сумм вида

$$\sum_{l=-n}^n l \cos\left(\frac{2\pi kl}{2n+1}\right), \quad \sum_{l=-n}^n l \sin\left(\frac{2\pi kl}{2n+1}\right),$$

которые не зависят от аппроксимируемых данных и могут быть предвычислены заранее.

В основе второго подхода лежит аппроксимация кусочно-линейных выпуклых оболочек, натянутых на данные [3].

Получены оценки вычислительной сложности предлагаемых алгоритмов.

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

Список литературы

- [1] ЖУК В. В., НАТАНСОН Г. И. Тригонометрические ряды Фурье и элементы теории аппроксимации. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. — 187 с.
- [2] КУРАКО М. А., СИМОНОВ К. В. Построение аппроксимационных функций по данным наблюдений // Информатизация и связь. — 2014. — № 2, С. 73–76.
- [3] СОБОЛЕВ Г. А. Основы прогноза землетрясений / М.: Наука, 1993. — 313 с.

2.34. Кызыуров О. Е., Зарубин А. А., Павлов С. Д., Патрушев И. Р. О задачах моделирования изменений аудиторий современных инфокоммуникационных услуг методами клеточных автоматов и системной динамики

Работа посвящена исследованию и анализу различных методов моделирования аудитории пользователей современных инфокоммуникационных услуг. В докладе рассмотрены различные подходы:

1. моделирование аудитории ИКТ-услуги по методу Ф. Басса [1]. Пример на базе аналитики и имитационного моделирования;
2. модель аудитории на основе вероятностных клеточных автоматов [2];
3. подход к формированию модели на базе вероятностных графовых машин состояний.

Для моделирования аудитории пользователей на основе вероятностных клеточных автоматов были проанализированы существующие системы управления клеточными автоматами с целью выявления возможности их изменения, либо дополнения. В результате был выбран программный продукт СА Explorer, разработанный Д. Баром в Университете Регис (США, Денвер). Данная система, разработанная на популярном сегодня языке программирования Java, предполагает широчайшие возможности расширения функционала, имеет открытый исходный код. В дополнение к системе был разработан модуль, позволяющий реализовывать гибкие настройки параметров вероятностного клеточного автомата. Для расчета поколений вероятностного клеточного автомата с числом состояний, равным 5, было создано ПО, учитывающее различные периоды взаимодействия пользователя и услуги. Расчет производится по двум контурам клетки с различной вероятностью для каждого контура, при этом размер поля клеточного автомата не ограничен. Получены результаты, показывающие численное сходство составленной модели и реальной статистики количества пользователей услуги. Произведена оценка производительности графовой вычислительной модели по сравнению с клеточным автоматом.

Список литературы

- [1] Bass diffusion model / URL: <http://www.bassbasement.org/BassModel>
- [2] БЕРКОВИЧ С. Я. Клеточные автоматы как модель реальности / Адрес доступа: http://www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/berkovich_kletoch_avtomaty.djvu.

2.35. Лаптев М. А., Старолетов С. М. Математическая модель интегрального алгоритма идентификации транспортных средств

Распознавание марки и модели автомобиля — это задача, актуальная для многих интеллектуальных систем [2], таких как система автоматического сбора платы за проезд и система поиска автомобилей с заведомо подложными номерами. Данная задача до сих пор не решена в полной мере. Одним из самых часто используемых в настоящее время методов в поиске изображения на фотографии является поиск с помощью каскадов Хаара [3]. Однако, попытка реализовать систему распознавания всего 10 различных марок автомобилей оказалась не очень успешной [4]. Каскады Хаара отлично справляются с задачей выделения автомобиля на изображении, но вот различать конкретные марки автомобилей — слишком трудная задача. Причина этому кроется в том, что признаки Хаара достаточно просты и с их помощью сложно описать различия между марками автомобилей. В данной работе рассматривается математическая модель системы, которая агрегирует разные методы распознавания, повышая таким образом итоговую точность результата. Ин-

тегральный алгоритм обучения состоит из нескольких подалгоритмов выделения ключевых особенностей транспортного средства. Каждый подалгоритм получает на вход изображение и целевой регион и в результате возвращает набор числовых особенностей (метрик) для исходного изображения. Применяются следующие метрики:

1. бинарный след переда/зада машины, включающий фары/фонари, решетку, бампер [1];
2. расстояния от номерной рамки до краев багажника/капота и фар/фонарей;
3. бинарный след логотипа производителя.

Применение одной сети нецелесообразно, поскольку задача классификации усложняется похожестью автомобилей, ошибками в результате определения метрик по исходным изображениям.

Для распознавания используется нейронная сеть, которая по изображению возвращает несколько значений найденных идентификаторов машины и вероятность правильности определения: $Net : Img \rightarrow (ID \times P)^*$. В интегральном алгоритме используется несколько нейронных сетей, работающих параллельно и возвращающих классы машин и их вероятности. Для определения результирующего класса применяется интегральная взвешенная формула. Пусть несколько сетей возвращают некие вероятности обнаружения и идентификаторы. Множество идентификаторов, возвращаемых разными сетями, идентично, поэтому, применив к ним взвешенные, эмпирически подбираемые коэффициенты w_i , показывающие вес каждой сети в итоговом интегральном алгоритме, получим

$$ID \times P_w = \left\{ id_1 \sum_{i=1}^k w_i p_{i1}, \dots, id_n \sum_{i=1}^k w_i p_{in} \right\}.$$

После подсчета взвешенных вероятностей для всех идентификаторов транспортных средств выбирается идентификатор с наибольшей вероятностью:

$$id = \max_p (ID \times P_w).$$

К настоящему моменту спроектированы классы, реализующие данную модель, выполняется реализация алгоритмов.

Список литературы

- [1] CHEN Z., ELLIS T. Vehicle type categorization: A comparison of classification schemes // 14th IEEE Intern. Conf. Intell. Transp. Syst. — 2011. — P. 74–79.
- [2] MA X., ERIC W. Edge-based rich representation for vehicle classification // IEEE Intern. Conf. Comp. Vision. — 2005. — P. 1185–1192.
- [3] VIOLA P., JONES M. J. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features // IEEE Conf. on Comp. Vision and Patt. Recogn. — 2001.
- [4] ЛАПТЕВ М. А., СТАРОЛЕТОВ С. М. Система распознавания марки автомобиля по фотографиям с камер фотофиксации // Матер. Науч.-техн. Конф. «Наука и Молодежь-2016». — 2016. — С. 73–75.

2.36. Линкевич Н.А. Разработка операционной системы на базе ядра Linux для гипервизоров

На данный момент существует несколько относительно известных операционных систем (ОС), которые можно использовать для гипервизоров: Debian, Ubuntu, VMWare ESXi, Arch Linux, Gentoo Linux, Slackware Linux и др. Debian считается наиболее стабильной из всех, но является универсальной и поэтому содержит большое количество функциональных возможностей, которые не требуются для целей виртуализации, что приводит к нерациональному использованию ресурсов ЭВМ. Ubuntu широко распространена благодаря проработанному пользовательскому интерфейсу, но часто работает нестабильно. VMWare ESXi обладает приемлемыми характеристиками для работы на гипервизорах, но, хотя и распространяется бесплатно, является проприетарной (с закрытым программным кодом). Две ОС класса Rolling Release — Arch Linux и Gentoo Linux — также имеют ряд проблем: Gentoo Linux сложна в первичной настройке, а Arch Linux имеет проблемы с обновлениями. Slackware Linux не обладает контролем зависимостей.

Настоящий доклад посвящен ОС для гипервизоров, созданной на базе ядра Linux. В силу ряда причин была выбрана разработка «с нуля» (from scratch). Использование распространенного systemd проблематично, поскольку он нестабилен и формат init-файлов меняется от версии к версии. Более того, systemd требует dbus, ненужный на гипервизоре. В целом, на наш взгляд, systemd пытается совместить в себе большое число компонентов, что негативно сказывается на стабильности. В предлагаемой разработке используется гибридная система инициализации, построенная на основе sysvinit и runit. Runit потребляет мало ресурсов и быстро восстанавливает работу сервисов после сбоя. Sysvinit используется для запуска стартового скрипта, выполняющего проверку системы, начальное конфигурирование параметров (имени хоста, IP-адреса и т.д.), а также для запуска консолей tty0 и ttyS0. Некоторые идеи взяты из существующих ОС: из Slackware взята идея инициализации единым скриптом без уровней загрузки (как в sysvinit), что позволило избежать зависимостей между сервисами; по аналогии с Arch Linux, устранен «path hell» при помощи символических ссылок; подобно Gentoo Linux, настройки хранятся в /etc/conf.d и переменных окружения /etc/env.d.

Тестовое внедрение в лаборатории компьютерной и сетевой безопасности НГУЭУ показало, что использование разработанной ОС позволило достичь приемлемой стабильности, повышения быстродействия (в сравнении с универсальными ОС) и возможности программирования специфического функционала.

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

2.37. Лихачев А.В., Кузьменко В.Д. Разработка метода поиска границ проекций внутренних структур на рентгеновских изображениях

В работе исследуется задача выделения контуров проекций внутренних структур на рентгеновских изображениях, искажённых аддитивным случайным шумом. Рассматриваемый подход состоит в последовательном применении низкочастотной и высокочастотной фильтрации соответственно для подавления шума и контрастирования. В последнем случае используется двумерный фильтр с частотной характеристикой

$$\Phi(\omega_x, \omega_y) = (\omega_x^2 + \omega_y^2)^\beta, \quad (1)$$

где параметр β принимает значения из интервала $0 < \beta < 0.5$. Для определения его величины предлагается следующий критерий: оценка средней дисперсии шума для исходного изображения, вычисленная по формуле

$$\hat{D}_0 = \frac{1}{N} \sum_i \sum_j (g^0(x_i, y_j) - g(x_i, y_j))^2,$$

должна равняться её оценке \hat{D}_F для изображения, полученного в результате применения рассматриваемых процедур. Здесь g и g^0 соответственно изображения с шумом и без него; суммирование ведётся по всем пикселям, число которых равно N . Обозначим через g^F изображение, полученное после низкочастотной фильтрации. Будем считать, что корреляционная функция содержащегося в нём шума обладает центральной симметрией и зависит только от расстояния между пикселями. Оценим её как

$$\hat{R}(x_i) = \frac{1}{N_j} \sum_j (g^0(x_0, y_j) - g^F(x_i, y_j))^2, \quad (2)$$

где N_j — число строк в изображении. Взяв от (2) дискретное преобразование Фурье, получим оценку спектральной плотности мощности (СПМ) шума $\hat{W}(\omega)$. Умножим её на характеристику (1), и учитывая, что интеграл от СПМ по частоте равен дисперсии, приходим к следующему уравнению для определения параметра β :

$$\hat{D}_0 = \hat{D}_F = \sum_i \hat{W}(\omega_i) |\omega_i|^\beta. \quad (3)$$

В работе (3) решалось методом перебора. Визуальное сравнение исходных (зашумлённых) изображений с изображениями, полученными описанным методом, показало, что на последних границы проекций внутренних структур более заметны.
Научный руководитель — д.т.н. Лихачев А. В.

2.38. Лях Т.В., Зюбин В.Е. Модельно-ориентированный метод автоматической верификации управляющих алгоритмов

На сегодняшний день автоматизированные системы управления создаются исключительно на базе цифровой техники в виде программно-аппаратных комплексов. При этом сложность задач промышленной

автоматизации повышается ввиду усложнения промышленных систем, повышения их функциональности и общей трудоемкости реализации алгоритмов управления. Рост значимости программного обеспечения для промышленной автоматизации и высокая стоимость логических ошибок в программах давно уже находятся в противоречии с текущей практикой разработки управляющих программ в рамках водопадной модели.

Проблема разработки алгоритмов управления особенно актуальна при создании АСУ сложными технологическими объектами, в которых стоимость ошибок высока, а аварии и нештатные ситуации чреваты серьезными финансовыми затратами. При этом такие алгоритмы отличаются высокой функциональной наполненностью, на них накладываются жесткие требования по безопасности.

Известные попытки снижения трудоемкости разработки и повышения надежности программного обеспечения для ПК (Agile-технологии, Test-Driven Development) предполагают итерационную разработку и формальные методы верификации (см., например, [1, 2]). Однако перенос этих подходов в область промышленной автоматизации (в частности, применение их в рамках процесс-ориентированного программирования — перспективной парадигмы создания управляющих алгоритмов) затруднено тем, что тестирование алгоритма управления предполагает активное взаимодействие с объектом автоматизации. Это вызвано спецификой алгоритмов управления, которые характеризуются неопределенной продолжительностью работы, взаимодействием с окружающей средой, событийным характером алгоритма, необходимостью согласовывать реакцию алгоритма с динамическими характеристиками объекта управления, логическим параллелизмом.

Таким образом, исследование и совершенствование подходов к разработке промышленных алгоритмов управления является актуальной проблемой.

В работе предложен, разработан и исследован модельно-ориентированный метод разработки алгоритмов управления технологическими процессами, который использует средства процесс-ориентированного программирования, концепцию виртуальных объектов управления и формальные методы верификации алгоритмов [3].

Список литературы

- [1] CLARKE E.M., GRUMBERG O., PELED D. Model Checking / The MIT Press, 1999. — 314 p.
- [2] SHILOV N.V., GARANINA N.O. Combined Logics of Knowledge, Time, and Actions for Reasoning about Multi-agent Systems. Knowledge Processing and Data Analysis // LNCS. — 2011. — Vol. 6581, P. 48–58.
- [3] Лях Т. В., Зюбин В. Е., Сизов М. М. Опыт применения языка Reflex при автоматизации Большого солнечного вакуумного телескопа // Пром. АСУ и контр. — 2016. — № 7, С. 37–43.

2.39. Малтугова Г. С., Дородных Н. О. Поддержка принятия решений в задачах группового и многокритериального выбора

Для решения практических задач выбора, требующих обработки мнений нескольких экспертов относительно разных характеристик сравниваемых объектов, разработаны методы группового многокритериального выбора: вербальный анализ (АРАМИС, МАСКА, ПАКС, ПАКС-М); групповая аналитическая иерархия; усреднение; аддитивная свертка; агрегирование парных сравнений; обобщение упорядочений (АИР) [1, 2]. В работе [3] предложена многометодная процедура, позволяющая применять различные методы к решению задач и формировать обоснованный результат, предъявляемый лицу, принимающему решение.

Для повышения эффективности и уменьшения времени решения задач был разработан прототип интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР «Выбор»), основанный на модельном принципе и реализующий предложенное в многометодную процедуру. С целью расширения круга задач, решаемых с помощью ИСППР «Выбор», разработаны паспорта методов решения задач выбора (индивидуального, группового многокритериального), в которых отражена следующая информация: тип решаемых задач, название, входные данные, вид результата, теоретическое обоснование, особенности, ограничения, ссылки. Организовано хранение разработанных паспортов методов в базе данных ИСППР «Выбор» [4]. Пользовательский интерфейс будет модифицирован с учетом предпочтений пользователей и с учетом современных требований к интерфейсу.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-07-01125).

Список литературы

- [1] ПЕТРОВСКИЙ А. Б. Теория принятия решений / М.: Издательский центр «Академия», 2009. — 400 с.
- [2] МАЛТУГОВА Г. С., ЮРИН А. Ю. Агрегирование предпочтений в группах. Метод и программное средство / Berlin: LAP LAMBERT Acad. Publ. GmbH & Co. KG, 2014.
- [3] МАЛТУГОВА Г. С., ПЕТРОВСКИЙ А. Б. Многометодное групповое многокритериальное оценивание экологически мероприятий // Тр. Шестой Междунар. Конф. «Системный анализ и информационные технологии». — 2015. — Т. 2, С. 72–80.
- [4] МАЛТУГОВА Г. С., ЮРИН А. Ю., ПЕТРОВСКИЙ А. Б., ДОРОДНЫХ Н. О. Реализация многометодного подхода к обработке индивидуальных предпочтений // Матер. 3-й Всерос. Поспеловской Конф. с Междунар. Уч. «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы». — 2016. — С. 173–181.

2.40. Медведев А.М., Сизов М.М., Старостенко А.А. Архитектура системы управления установкой электронно-лучевой сварки

В Институте ядерной физики СО РАН разрабатывается ряд установок установкой электронно-лучевой сварки (ЭЛС) [1]. В настоящее время в них используется система управления СХ, разработанная в Институте для управления ускорителями элементарных частиц. Однако при эксплуатации этой системы безопасность обеспечивалась физическими устройствами и реакцией операторов. При этом не было предусмотрено программной защиты от внешних ситуаций, и обработки видеопотоков.

В работе предлагается архитектура системы управления установками ЭЛС, сохраняющая ряд удачных архитектурных решений системы СХ (использование для обмена данными абстракций-каналов и переиспользование драйверов устройств). Система управления состоит из набора конечных автоматов, отвечающих за безопасность, работу с оборудованием, обработку видеопотока от электрода вторичной эмиссии электронов [2], а также высокоуровневую обработку производственного задания. Взаимодействие между автоматами происходит посредством именованных каналов сообщений. Система проектируется с упором на безопасность: в состоянии, описывающем систему, выделяется отдельный булевый канал, «armed», который взводится в значение true только при проведении всех проверок на безопасность в отдельном конечном автомате. Запись в каналы, регулирующие режимы электронной пушки разрешены только в состоянии «armed», при каждом чтении данных с сенсоров, проводится проверка, которая при выходе за допустимые пределы (например, развакуумирование камеры) переводит систему в безопасный режим.

Список литературы

- [1] SEMENOV Yu. I., AKIMOV V. E., BATAZOVA M. A. ET AL. 60 KEV 30 KW electron beam facility for electron beam technology // Proc. 11th Eur. Particle Accel. Conf. (EPAC'08). — 2008. — P. 1887–1889.
- [2] Сизов М. М., Зюбин В. Е., Лях Т. В. и др. Использование языка Ceph для обработки видеосигналов в системе автоматизации электронно-лучевой сварки // Пром. АСУ и контр. — 2016. — № 6, С. 38–43.

2.41. Миков Л.С. Методы обработки спутниковых радарных данных

В работе рассматриваются вопросы обработки спутниковых радарных изображений. Описываются этапы обработки и промежуточные результаты вычислений, такие как расчет интерферограммы, фильтрация, развертка фазы. Для исследования были выбраны следующие методы [1]:

1. дифференциальная интерферометрия, для обработки пары изображений;

2. интерферометрия малых базовых линий (SBaS), для обработки многопроходных серий изображений (трех и более изображений).

Продемонстрирована обработка пары радарных изображений с космического аппарата Cosmo-Skymed за 2014 год на территорию Кемеровской области, и многопроходной серии из 18 изображений с космического аппарата Sentinel-1A [2] на территорию Мурманской области за 2015 год. Представлены промежуточные результаты обработки — интерферограмма, дифференциальная интерферограмма, развернутая фаза, а также итоговые результаты в виде цифровой модели местности, и карт смещений земной поверхности.

Список литературы

- [1] SOERGER U. Radar Remote Sensing of Urban Areas / Hannover: Springer, 2012. — 277 p.
- [2] Sentinels Data Hub / 2013. — URL: <https://scihub.copernicus.eu/dhus>.

2.42. Морозов А.Е. Реализация параллельных алгоритмов фрактального сжатия изображений с использованием OpenCL

В работе представлены результаты оптимизации процесса фрактального сжатия изображений с использованием параллельных алгоритмов из библиотеки OpenCL.

Метод фрактального сжатия предложен в начале девяностых годов М. Барнсли и А. Слоуном [1]. Он основан на обнаружении самоподобных участков в изображении и составлении списка аффинных преобразований, необходимых для его получения. В данной работе изображение разбивается на множество квадратных блоков равного размера, называемых «ранговыми». Для каждого блока ищется наиболее похожий на него «доменный» блок — блок изображения, вдвое больше «рангового». В случае нахождения такого максимально похожего блока записываются параметры аффинного преобразования для получения рассматриваемого «рангового» блока из найденного «доменного».

Данный метод демонстрирует хорошую степень сжатия, однако имеет существенный недостаток — большое время, требуемое для обработки изображений. В процессе обработки при сравнении «рангового» блока с «доменным» выполняется сравнение двух двумерных массивов пикселей. Каждый «ранговый» блок нужно сравнить со всеми имеющимися «доменными» во всех их возможных ориентациях. Все «ранговые» блоки нужно обработать тем же образом. Поэтому даже для самого простого изображения время обработки на современном процессоре может достигать нескольких минут. Скорость обработки изображений падает пропорционально квадрату их размера. Для ускорения этого процесса целесообразно использовать современные графические процессоры.

В данном докладе описаны параллельные алгоритмы фрактального сжатия изображений, которые были реализованы с использованием фреймворка OpenCL и протестированы с использованием мощностей как центрального, так и графического процессора на одной машине.

В ходе выполнения работы был проведен сравнительный анализ степени сжатия изображений фрактальным методом и методом JPEG, а также скорости сжатия последовательным и параллельным способом. Также сравнивалась скорость сжатия с использованием параллельных алгоритмов на центральном и на графическом процессорах.

*Научный руководитель — к.т.н., доцент
А. А. Малявко.*

Список литературы

- [1] BARNSELY M. F., SLOAN A. D. Methods and apparatus for image compression by iterated function system / 1990. — URL: <https://www.google.com/patents/US4941193>.

2.43. Ожгибесов М.С., Орлов А.А., Пан В.В. Автоматизированный контроль целостности и мониторинг адекватности математических моделей

Финансовые модели, служащие для исследования состояния и прогнозирования поведения финансовых рынков, являются сложными многокомпонентными математическими моделями. Несмотря на сложность, данные модели описывают реальный финансовый процесс с ограниченной точностью, поэтому использование моделей для оценки банковских рисков сопряжено с проблемой их ограниченной адекватности. А поскольку конъюнктура рынков непостоянна, адекватность модели может теряться с течением времени.

Жизненный цикл подобных моделей включает этапы создания, валидации и непосредственного применения модели. Данные этапы состоят из большого количества подзадач с порой неочевидными взаимосвязями. Применение методов автоматизации позволило серьезно сократить количество ошибок на всех этапах процесса.

Доклад посвящен структуре и функциям автоматической системы мониторинга адекватности и контроля состояния целевых математических моделей.

2.44. Ощепков А.Ю. Алгоритм на базе парадигмы MapReduce для высокопроизводительной обработки спутниковых спектральных изображений

Целью данной работы является создание современной информационной системы, обеспечивающей увеличение производительности и интеграцию обработки данных дистанционного зондирования земли на базе технологий Apache Hadoop. Для решения задач обработки спектральных данных была выбрана интегрированная среда управления за-

даниями Cloudera Hue. Распределенная обработка спектральных данных в системах Hadoop позволяет добиваться повышения производительности, путем изменения параметров кластера без внесения изменений в механизмы программной оптимизации. Размещение workflow — заданий в кластере инфраструктуры Hadoop в виде интегрированных сервисов дают эргономику доступа/запуска расчетов без необходимости разработки дополнительных web-интерфейсов и настройки веб-инфраструктуры. Данный подход позволил отказаться от применения дорогостоящих систем хранения данных в пользу использования распределенной файловой системы HDFS. Исходя из математической модели расчета вегетативных индексов были разработаны алгоритмы расчета индексов растительности гипер- и мультиспектральных спутниковых снимков КА Landsat-7/8 на базе технологии MapReduce с использованием библиотек Java. Программные компоненты системы реализуют расчеты следующих индексов: нормализованный, инфракрасный, разностный, трансформированный и относительный. На основе современной экосистемы Apache Hadoop созданы высокопроизводительные вычислительные модули для расчета вегетационных индексов спектральных данных, как компонентов информационно-вычислительной ГИС-системы. Так же для работы с каналами спутниковых снимков, содержащихся в файлах формата GEOTiff, разработан и адаптирован к работе с распределенной файловой системой HDFS высокопроизводительный алгоритм чтения/записи промежуточных бинарных пар ключ-значение для алгоритмов типа MapReduce, с использованием библиотек JAI в среде кластера Cloudera CDH5. Проведены тесты производительности разработанных компонентов на примерах снимков космического аппарата Landsat-7/8. Результаты тестирования показали улучшенное время работы (в среднем, в 5–6 раз) алгоритмов, по сравнению со стационарным хостом.

2.45. Парыгин А.В., Зюбин В.Е., Вольф А.А., Достовалов А.В., Бабин С.А. 2D система стабилизации положения оптического волокна

Волоконная брэгговская решётка (ВБР) — широко используемый компонент волоконной оптики. Один из методов создания ВБР — фемтосекундная лазерная запись с протяжкой волокна через ферулу. Данная работа является продолжением и развитием идей работы [1].

В результате проведения ряда натурных экспериментов по записи решёток (протягивание оптического волокна осуществлялось через ферулу по оси X) была выявлена необходимость в использовании стабилизации положения оптического волокна во время такого процесса по дополнительной оси (оси Z), в дополнение к уже имеющейся возможности стаби-

лизации по одной из осей (ось Y).

В ходе исследований было выявлено влияние неоднородностей (пыль, пузыри воздуха) в пространстве между оптическим волокном и внутренними стенками ферулы, на точность определения границ сердцевины волокна и были предложены алгоритмы по фильтрации таких неоднородностей на профиле изображения границ сердцевины волокна вместе с неоднородностями.

Для повышения точности стабилизации положения сердцевины оптического волокна был осуществлён переход на субпиксельный расчёт положения границ сердцевины волокна. Статический способ (два уровня смещения границ оптического волокна для подстройки: «точно» — минимально возможное отклонение от положения стабилизации, «грубо» — пара минимальных отклонений) подстройки в обратной связи для стабилизации положения сердцевины оптического волокна был заменён. В качестве нового способа регулирования было опробовано несколько регуляторов: П, ПИ, ПИД.

Модернизация системы контроля положения волокна позволила повысить качество изготавливаемых ВБР. Предложенный метод контроля позволяет записать длинные ВБР с существенно лучшими спектральными характеристиками.

Список литературы

- [1] ПАРЫГИН А.В., ЗЮБИН В.Е., ВОЛЬФ А.А. и др. 1D система стабилизации положения оптического волокна // XVI Всерос. конф. молодых ученых по мат. модел. и информ. техн. — Красноярск, 2015.

2.46. Паторук А.С. Стеганография. Скрытие стего в изображении

Объектом исследования является алгоритм основанный на методах MLSB (модифицированный метод замены наименьших значащих битов) и DSIS (метод разбиения изображения на сегменты разного размера), предложенный в работе [1]. Цель данной работы — модификация и реализация современного алгоритма, основанного на методах MLSB и DSIS. При реализации алгоритма были проведены следующие модификации:

1. используется симметричный алгоритм шифрования AES-256, для защиты стего;
2. в качестве ключа для шифрования и DSIS используется хэш SHA-512 от введенного пользователем ключа;
3. для сжатия, внедряемого стего используется алгоритм GZIP;
4. перед внедрением или чтением стего, а также после внедрения, контейнер переворачивается, чтобы данные записывались не с начала изображения, а с конца;
5. внедрение стего начинается с синей цветовой компоненты, т.к. человеческий глаз наименее

чувствителен к изменению яркости именно синего цвета, что позволит снизить вероятность обнаружения стего.

В процессе работы проводился анализ реализованного алгоритма. В результате исследования было установлено, что существует вероятность обнаружения стего в контейнере, однако извлечение и чтение данных является трудоемкой задачей для нарушителя, даже если известен алгоритм. Поэтому данный алгоритм допускается использовать для скрытой передачи данных.

Научный руководитель — д.т.н., профессор Попов А. А.

Список литературы

- [1] AL-SHATANAWI O.M., EMMAM N.N. A new image steganography based on denoising methods in wavelet domain // Intern. J. Network Security And Its Appl. (IJNSA). — 2015. — P. 18–25.

2.47. Перепелкин В.А., Беляев Н.А. Динамическое планирование распределения вычислительной нагрузки LuNA-программ по CPU и GPU на мультикомпьютерах

В современном численном моделировании на суперкомпьютерах существенный прирост в производительности часто можно получить путём использования графических ускорителей (GPU) и других спецвычислителей. В этом случае разработка параллельной программы, как правило, существенно усложняется, поэтому актуальна тема создания и развития соответствующих инструментальных средств. При этом приходится автоматизированно решать задачу распределения вычислительной нагрузки по GPU и ядрами CPU. Сложность этой задачи обусловлена необходимостью учитывать такие факторы, как особенности задачи, конфигурация вычислителя, ход моделируемого явления, и т.п., а использование универсальных алгоритмов распределения нагрузки для практических задач малоэффективно.

В отличие от аналогов, в системе конструирования параллельных численных программ LuNA [1], разрабатываемой, в т.ч. авторами, используется подход, при котором система программирования аккумулирует существующие частные решения задачи распределения нагрузки между CPU и GPU. Система автоматически выбирает оптимальное решение на основе статического анализа кода программы, конфигурации вычислителя, распределения текущей нагрузки, и т.п.

Целью данной работы была разработка архитектуры планировщика, расширяемого специализированными алгоритмами распределения вычислительной нагрузки по CPU и GPU, разработка алгоритма интеллектуального выбора текущего алгоритма планирования и реализация такого планировщика в составе системы LuNA.

Также было реализовано 2 алгоритма планирования и динамический выбор оптимального из них. Практическое тестирование показало применимость предлагаемого подхода.

Список литературы

- [1] MALYSHKIN V. E., PEREPEL'KIN V. A. LuNA fragmented programming system, main functions and peculiarities of run-time subsystem // Proc. 11th Conf. «Parallel computing technologies». — N.Y.: Springer, LNCS 6873. — P. 53–61.

2.48. Перепелкин В.А., Софронов И.В., Ткачёва А.А. Оптимизирующая компиляция фрагментированных программ на базе вычислительных моделей

Оптимизирующая компиляция эффективных распределённых программ для мультимашинных систем программирования высокого уровня является сложной задачей, требующей статического анализа кода и учёта особенностей прикладной задачи, конфигурации вычислителя и других факторов.

Ввиду того, что обозначенные факторы варьируются в широких диапазонах и могут изменяться от одного запуска программы к другому, процесс настройки программы на вычислитель должен осуществляться автоматически.

Поэтому требуется иметь возможность накапливать знания в некоторой базе знаний системы программирования и применять эти знания в текущей ситуации на основе её всестороннего анализа.

Для достижения этой цели авторами предлагается применить подход, используемый в структурном синтезе параллельных программ на базе вычислительных моделей [1]. Этот подход позволяет представлять знания о некоторой предметной области в виде множества операций и переменных с возможностью автоматического синтеза оптимального решения из них.

В рамках работы была разработана и реализована экспериментальная платформа для накопления и применения знаний о компиляции на базе вычислительных моделей. Тестирование на решателе уравнения Пуассона явным методом показало применимость предлагаемого подхода.

Список литературы

- [1] Вальковский В. А., Малышкин В. Э. Синтез параллельных программ и систем на вычислительных моделях. — Новосибирск: Наука, 1988. — 129 с.

2.49. Полетаева В.Д. Имитационный стенд прогнозирования рисков ситуаций облачной модели взаимодействия SaaS

Работа посвящена синтезу имитационного стенда обнаружения уязвимостей взаимодействия Потребитель — Провайдер, реализуемого в рамках SaaS модели. Рассматриваются следующие неблагоприятные события: риск взлома аккаунта; риск зара-

жения вредоносным ПО; риск кражи данных и риск нарушения конфиденциальности [1].

К рассматриваемому информационному стенду предъявляются следующие функциональные требования:

1. преобразование априорной информации во внутреннюю структуру модели;
2. сбор информации касательно актов Пользователя в облачной среде;
3. реализация эргономичного, интуитивно понятного интерфейса для взаимодействия и для предоставления актуальной информации, необходимой для принятия взвешенных аргументированных решений по противодействию рискам.

Приведённые ниже факторы влияют на повышение вероятности появления неблагоприятных ситуаций:

1. время отклика сервиса превышает заданное значение;
2. данные о геолокации и IP-адресе Пользователя изменяются многократно с большой интенсивностью;
3. количество сторонних сервисов, предлагаемых облачным Провайдером, превышает критическое значение;
4. политика работы виртуальных машин недостаточно проработана;
5. существование вероятности геополитических и санкционных конфликтов;
6. данные пользователей имеют слабое разграничение между собой;
7. слабая защита запросов баз данных;
8. целостность данных была нарушена один и более раз;
9. шифрование данных производится на неудовлетворительном уровне;
10. наличие недостаточно проработанной политики безопасности.

Сценарий использования имитационного стенда состоит в следующем:

1. потребитель предоставляет сведения о брокере, а также доступ к личным данным;
2. через фиксированные отрезки времени считываются характеристики облачного сервиса, такие как скорость отклика, отслеживание IP-адреса, протокол передачи запросов, наличие незащищённых элементов и т.д.;
3. при успешном анализе начисляются баллы каждому критическому фактору;
4. для получения вектора вероятности риска — конечного продукта модели — требуется просуммировать полученные баллы.

Список литературы

- [1] DEKKER M. A. C., LIVERI D. Cloud Security Guide for SMEs / 2015. — 50 p.

2.50. Полетайкин А.Н., Ильина Т.С. Методика нечеткого оценивания личностных качеств обучающихся

В настоящее время в системе образования РФ широко применяется компетентностный подход к оцениванию результативности обучения. При этом объективная оценка системных характеристик компетенций определяет уровень развития способностей и качеств личности индивида. Многочисленные исследования показали, что результативные параметры деятельности обучения во многом определяются совокупностью личностных качеств (ЛК) обучающихся, моделирование взаимодействия которых в структуре компетенции позволит уточнить концепцию ее системного измерения. Ввиду значительного количества (39) ЛК, определенных экспертами как существенных для структурирования компетенций [1], задача их оценивания традиционными психологическими тестами является очень трудоемкой. В связи с этим возникает необходимость в разработке модели, позволяющей осуществлять оценивание ЛК с приемлемой точностью за приемлемое время. Решение этой задачи решено осуществить посредством применения комплекса многофакторных методик исследования личности Кеттелла и Леонгарда-Шмишека. Для установления соответствия между 39 ЛК, 10 типами личности по Леонгарду и 16 факторами Кеттелла был применен метод экспертного оценивания и аппарат нечетких отношений. Экспертам было предложено оценить истинность высказываний «У личности с акцентуацией x уровень ЛК y находится на уровне z », а также «У личности с акцентуацией x значение фактора f находится на уровне z », где x , f , y и z — лингвистические значения, определенные на соответствующих универсальных множествах. Особенность построения нечеткой модели для описываемой ситуации заключается в том, что рассматриваемая причинная взаимосвязь ЛК и типов личности не является однозначной. Исходя из субъективного опыта эксперта, качества личности, цели исследования и учета других факторов эта причинная взаимосвязь наиболее адекватно может быть представлена в виде бинарного нечеткого отношения. Для получения оценок ЛК на основе нечеткого отношения применяется операция композиции бинарных нечетких отношений. Результирующий вектор нечетких значения уровней выраженности ЛК дефаззифицируется методом центра масс.

Список литературы

- [1] Полетайкин А.Н., Ильина Т.С., Белоус С.А. Системный подход к моделированию и количественному измерению образовательных компетенций // Матер. Рос. науч.-тех. конф. «Обработка информации и математическое моделирование». — Новосибирск: СибГУТИ, 2015. — С. 275–284.

2.51. Попов М., Цыганова М.С. Модель оптимального распределения игрового времени многодневного фестиваля интеллектуальных игр

Организация многодневных фестивалей интеллектуальных игр, предполагающих проведение турниров по нескольким видам игр («Что?Где?Когда?», «Брейн-ринг», «Своя игра» и др.), включает весьма трудоемкий процесс распределения игрового времени, на основе которого в дальнейшем формируется расписание игр фестиваля. Турнир по каждому из видов интеллектуальных игр может быть организован с использованием одной из нескольких систем проведения (швейцарской, олимпийской, круговой и др.). Выбор той или иной системы в рамках данного турнира определяет количество боев между командами и, как следствие, количество игрового времени и требуемого вопросного материала. Организаторы фестиваля, с одной стороны, стремятся обеспечить максимальную насыщенность фестиваля (т.е. организовать максимально возможное количество боев), а с другой стороны, ограничены количеством имеющихся площадок, общим временем проведения фестиваля и имеющимся количеством вопросного материала по каждому из видов игр. В Тюменской области организацией фестивалей интеллектуальных игр занимается ООО «Федерация интеллектуальных игр». В данной работе были исследованы возможности организации информационной поддержки проведения фестивалей на базе этой федерации. Была разработана оптимизационная математическая модель распределения игрового времени, и на ее основе — алгоритм распределения игрового времени для имеющихся входных данных (количество команд-участниц, количество площадок, перечень игр, по которым будут проводиться турниры в рамках данного фестиваля, количество вопросов для каждого вида игр и общее время проведения фестиваля). В качестве критерия оптимизации было выбрано общее количество боев в рамках фестиваля в целом. Все переменные модели являлись целочисленными, система ограничений строилась, исходя из ограничений на имеющиеся ресурсы. Таким образом, решалась задача нелинейного целочисленного программирования. Для решения этой задачи был построен алгоритм, использующий идею метода частичного перебора [1], который, однако, пришлось модифицировать с учетом наличия не булевой переменной и приоритетности систем жеребьевки. Реализацией этого алгоритма стал модуль распределения игрового времени в системе информационной поддержки проведения фестивалей интеллектуальных игр.

Список литературы

- [1] ВАГНЕР Г. Основы исследования операций / М.: Мир, 1993. — Т. 2. — 489 с.

2.52. Проничкин С.В. Информационная система определения антропогенной нагрузки на экосистему мегаполиса

Данные статистики о состоянии окружающей среды свидетельствуют о ежегодном увеличении объемов загрязняющих веществ. В мегаполисах растет количество отходов производства и потребления, которые не перерабатываются, а просто размещаются. Более половины всего городского населения субъектов РФ проживают в условиях высокого и очень высокого загрязнения воздуха. Остается крайне высоким объем сточных вод, сбрасываемых в поверхностные воды мегаполисов без очистки или недостаточно очищенными. Уменьшение негативного воздействия на экосистемы мегаполисов возможно достичь с помощью эффективной системы мер регулирования антропогенной нагрузки. Такая система должна базироваться на научно-обоснованном сочетании экономических, социальных и экологических интересов человека, общества и государства.

Доклад посвящен разработке информационной системы определения антропогенной нагрузки на экосистему мегаполиса. Для определения антропогенной нагрузки на экосистему мегаполиса используется специальный класс вычислимых моделей на основе индивидуального поведения множества агентов [1], создаваемых для компьютерных симуляций [2]. Разработана агент-ориентированная карта антропогенной нагрузки Москвы. Агентами являются мобильные и стационарные поллютанты. Выделены основные свойства и атрибуты агентов:

1. факторы негативного воздействия (физической, химической и биологической природы);
2. расположенность во времени и пространстве;
3. восприятие среды.

Разработана среда — пространство города, окружающее совокупность агентов, определяющее условия их функционирования и оказывающее на них прямое или косвенное воздействие в зависимости от значений эколого-экономических индикаторов.

В качестве инструментального средства для разработки агент-ориентированной карты антропогенной нагрузки использовалось программное обеспечение RePAST [3]. RePAST включает в себя графический язык моделирования, позволяет разрабатывать агентные модели с помощью языка Java. Использование разработанной информационной системы позволит оптимизировать эколого-экономические схемы городского планирования и развития с учетом объективных ограничений емкости экосистемы мегаполиса. Индикаторы, имеющие ясный экономический смысл, и агент-ориентированная модель будут способствовать принятию адекватных управленческих решений и выявлять тенденции развития экологической ситуации в мегаполисах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-36-70002-мол_а_мос) и Правительства Москвы.

Список литературы

- [1] LEYTON K. Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic and Logical Foundations / Cambridge Univ. Press, 2009. — 532 p.
- [2] GRIMM V., RAILSBACK S. Individual-based Modeling and Ecology / Princeton Univ. Press, 2005. — 485 p.
- [3] NORTH M., COLLIER N. Experiences Creating Three Implementations of the Repast Agent Modeling Toolkit // ACM Trans. Modeling and Comp. Simulation. — 2006. — Vol. 16, N 1, P. 1–25.

2.53. Розов А.С. Методика программирования открытых микроконтроллерных платформ на основе гиперавтоматов

Встраиваемые системы управления обладают всеми свойствами промышленных систем автоматизации — высокой надежностью и устойчивостью, возможностью параллельного взаимодействия с множеством объектов во внешней среде и т.п. При этом, за счет дополнительных требований к габаритам, энергопотреблению и стоимости встраиваемых систем, использование промышленных контроллеров в таких задачах нецелесообразно. Основной вычислительной платформой для встраиваемых систем служат микроконтроллеры. Широкое распространение открытых микроконтроллерных платформ (Arduino, Itead Maple и др.) также способствует развитию области встраиваемых систем и обуславливает интерес к методикам программирования микроконтроллеров. Качество встраиваемых систем может быть повышено за счет использования методов программирования, специально разработанных для задач автоматизации. Процесс-ориентированное программирование на основе гиперавтоматов демонстрирует высокую эффективность при автоматизации технологических процессов и научных исследований. Применение этой методики при разработке встраиваемых систем требует адаптации ее понятийного аппарата и существующей реализации для учета особенностей программирования микроконтроллеров — ограниченности вычислительных ресурсов и активного использования аппаратных прерываний.

Ранее была предложена модифицированная модель алгоритма управления, представляющая прерывания микроконтроллера в виде отдельных гиперавтоматов [1]. Данная работа посвящена применению этой модели для разработки встраиваемых систем на базе открытых микроконтроллерных платформ. Предлагается методика проектирования и реализации алгоритмов управления, обеспечивающая снижение накладных расходов при ограниченности ресурсов микроконтроллера. Описывается опыт апробации методики при разработке метеосервера на Arduino-совместимой платформе.

Научный руководитель — д.т.н. Зюбин В. Е.

Список литературы

- [1] Розов А. С., Зюбин В. Е. Расширенная модель гиперпроцесса для программирования микроконтроллеров // Пром. АСУ и контр. — 2016. — № 9, С. 34–38.

2.54. Рохина М.Г., Неведрова Н.Н., Шалагинов А.Е. Построение 4D-моделей средствами ESRI ArcGIS (на примере участка в Чуйской впадине Горного Алтая)

При анализе результатов многолетних наблюдений за электромагнитными параметрами в сейсмоактивных зонах актуально построение 4D-моделей, в которых возможно проследить изменения не только в объеме, но и во времени.

В данной работе рассмотрен участок в Чуйской впадине, где в 1980, 2004–2015 гг. проводились площадные измерения методом зондирования становлением поля (ЗС) в 9 пунктах. Измерения среды, проведенные в 2004 г. (вскоре после разрушительного землетрясения в 2003 г. [1]), показали, что геоэлектрические параметры существенно отличаются от параметров стабильного состояния 1980 г. Изменения удельного электрического сопротивления ($\Delta\rho$) в среднем превышали 100 %. Дальнейшие измерения были направлены на изучение процесса восстановления параметров среды. В результате интерпретации полевых данных ЗС получены одномерные геоэлектрические модели для каждого ЗС (преимущественно трехслойные с наиболее проводящим средним слоем), двумерные площадные распределения как самих геоэлектрических параметров, так и их вариаций, рассчитанных относительно 1980 г. [2]. Трехмерные модели с реальными координатами, построенные в виде послойных распределений $\Delta\rho$ с учетом рельефа, показали, что из-за сложной блоковой структуры участка, присутствия разломов, изменения $\Delta\rho$ в объеме распределены неоднородно (есть пункты, более чувствительные к сейсмическому воздействию, особенно на уровне второго слоя [3]). Распределения $\Delta\rho$ во времени (в частности, 4D-модель) построены с использованием бегунка времени и маршрутной координаты M для каждого пикета в координатном пространстве-времени (t, M, z) . Распределение $\Delta\rho$ во времени показало, что с каждым годом вариации удельного электрического сопротивления уменьшаются, среда восстанавливается, но, из-за продолжающегося афтершокового процесса, в некоторых пунктах абсолютные величины вариаций по-прежнему значительны [4]. Построение 4D моделей средствами ESRI ArcGIS позволяет оценить не только распределение анализируемых параметров в объеме, структурные особенности среды, но и проследить закономерности их изменения во времени в привязке к реальным координатам, а также в дальнейшем рассмотреть взаимосвязи вариаций с разломными структурами этого участка. Применение маршрутной координаты M позволяет увидеть временные изменения параметров в статичном трехмерном представлении.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-35-20614-мол_а_вед).

Список литературы

- [1] Еманов А. Ф., Еманов А. А., Лескова Е. В. и др. Чуйское землетрясение 27 сентября 2003 года с $M_s = 7.3$, $K_p = 17$ (Горный Алтай) // Землетрясения Северной Евразии в 2003 году. — ГС РАН. — Обнинск. — 2009. — С. 326–343.
- [2] НЕВЕДРОВА Н. Н., Эпов М. И., Антонов Е. Ю. и др. Реконструкция глубинного строения Чуйской впадины Горного Алтая по данным электромагнитных зондирований // Геология и геофизика. — 2001. — Т. 42, № 9, С. 1399–1416.
- [3] НЕВЕДРОВА Н. Н., ШАЛАГИНОВ А. Е. Мониторинг электромагнитных параметров в зоне сейсмической активизации Горного Алтая // Геофизика. — 2015. — № 1, С. 31–40.
- [4] НЕВЕДРОВА Н. Н., Санчаа А. М., Шалагинов А. Е. и др. Характеристика активности разломных структур по данным геоэлектрики с контролируемыми источниками (на примере Горного Алтая) // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 12, С. 243–259.

2.55. Савин М.А. Разработка программно-аппаратного комплекса для отображения зон активности коры головного мозга человека

Современные аппараты (МРТ, КТ, ПЭТ) обеспечивают возможность получения срезов коры головного мозга, на основе которых необходимо получить трехмерную модель черепа и коры мозга. Визуализация данных МРТ и проецирование на визуальную модель данных электроэнцефалографии представит полную картину мозга для дальнейшего его исследования и изучения в медицине и научной деятельности. Целью проекта является исследование областей коры головного мозга и разработка программной системы для формирования и отображения объемной модели из срезов, полученных аппаратом МРТ и отображение зон активностей головного мозга, на основе метода электроэнцефалографии. Аппарат МРТ формирует файл в специальном формате DICOM, который представляет собой информацию о пациенте, исследовании и информации для отрисовки изображения. Информация в файле хранит в себе набор, описывающий каждую точку, а также яркость и плотность. Каждый файл представляет срез горизонтальной части мозга. Для большей точности рекомендуется использовать каждый срез размером 0.5 мм. Информация в DICOM-файле можно представить в виде обычного изображения, с высоким разрешением. Изображения срезов объединяются по программному алгоритму, выделяя ключевые точки контура мозга, накладываются друг на друга, тем самым формируется цельная модель коры головного мозга. С электроэнцефалографа программа получает данные активных областей мозга, в виде диаграмм и графиков. Программа отбирает нужную информацию для сопоставления с готовой моделью головы и отмечает активную область цветом. Для визуализации систе-

мы, модель проецируется на специальный экран, покрытый проекционной пленкой. Спроецированное изображение регистрируется на экране, за счет плёночного покрытия, состоящее из микроскопических линз. Микролинзы фокусируют световой поток проекции изображения. Ощущение объема возникает, поскольку мозг восстанавливает мнимое изображение за поверхностью экрана. Перспективная модель мозга будет иметь вид реального человека, сформированная на основе снимков конкретного человека. Будет возможность вращать и приближать модель, а также просматривать внутреннюю часть мозга. Разработанный комплекс позволяет визуализировать зоны активности на коре головного мозга конкретного человека для уточнения данных управляющих воздействий.

2.56. Сидоренко П.В., Гиниятуллина О.Л., Харлампенков И.Е. Информационная система оценки биоразнообразия горнодобывающего региона

Воздействие горного производства на окружающую среду и природные ресурсы носит многоплановый, длительный и комплексный характер. При этом происходят изменения рельефа местности, геологической структуры массива горных пород, механическое повреждение почвы и т.д. Добыча полезных ископаемых неизбежно сопровождается разрушением природных экосистем и заменой их на антропогенные и техногенные. При этом неизбежно приходится решать задачи, связанные с эффективным сохранением и восстановлением биологического разнообразия животного и растительного мира. Разработанная система реализована на основе геопортала, что дает возможность предоставлять карты и данные в сети Интернет в открытом формате. Использование OGC-сервисов обеспечивает открытый доступ к географическим данным и программным функциям, позволяя организациям встраивать ГИС в любое приложение на вычислительных и мобильных устройствах. К хранилищу данных подключены вычислительные модули, обеспечивающие решение ряда важных задач по сохранению биоразнообразия в регионах с высоким уровнем добычи полезных ископаемых. Одним из наиболее важных является модуль ранжирования территорий по видам хозяйственной деятельности. Главная его задача — определение в указанной пользователем территории объектов биоразнообразия и отнесение ее к определенному классу хозяйственной деятельности (добыча разрешена, частично разрешена, запрещена полностью). Создаваемая в рамках данной работы система оценки биоразнообразия горнопромышленного региона впервые позволила сконцентрировать часть информационных потоков, которые в настоящее время не только разрознены, но и практически не анализируются при проектировании новых участков добычи полезных ископаемых.

Список литературы

- [1] Славинский Д.А. Структура информационных ресурсов по биоразнообразию в сети Интернет / Адрес доступа: <http://biospace.nw.ru>.
- [2] Лобанов А.Л., Смирнов И.С., Дианов М.Б. Эволюция стандарта ZOOCOD — концепции отражения зоологических иерархических классификаций в плоских таблицах реляционных баз данных // Десятая Всерос. науч. конф. Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции (RCDL'2008). — Дубна, 2008. — С. 326–332.
- [3] Лобанов А.Л., Зайцев М.В. Создание компьютерных баз данных по систематике млекопитающих на основе классификатора названий животных «ZOOCOD» // Тр. Конф. «Вопросы систематики, фаунистики и палеонтологии мелких млекопитающих». СПб.: Изд-во Зоол. Ин-та РАН, 1991. — Т. 243, С. 180–198.

2.57. Сизов М.М., Зюбин В.Е. Алгоритм определения параметров отрезков на основе преобразования Хафа

В работе предлагается алгоритм определения координат концов отрезков на зашумленных изображениях. При автоматизации ряда научных и производственных задач [1] возникает задача определения параметров отрезков (угол наклона, толщина, координаты концов, и т.д.), например, для организации обратной связи. При этом на изображение может накладываться шум, на нем могут присутствовать побочные объекты, отрезки могут прерываться.

Первый шаг предлагаемого алгоритма — поиск точек интереса алгоритмом поиска углов с низким порогом (Features from accelerated segment test, FAST [2]). Для точек интереса применяется модифицированное преобразование Хафа, для повышения точности которого предлагается не проводить бинаризацию данных. Таким образом, в голосовании участвуют все точки интереса, а вклад каждой точки пропорционален её интенсивности.

Для повышения производительности алгоритма используется итерационная вычислительная схема, уменьшающая пространство возможных значений параметров. На последней итерации вместе с точками интереса учитываются интенсивности точек, находящихся в окрестности исходных точек.

Алгоритм апробирован на задачах поиска сварного стыка установки электронно-лучевой сварки Института ядерной физики СО РАН.

Список литературы

- [1] Сизов М.М., Зюбин В.Е., Лях Т.В. и др. Использование языка Ceph для обработки видеосигналов в системе автоматизации электронно-лучевой сварки // Пром. АСУ и контр. — 2016. — № 6, С. 38–43.
- [2] Rosten E., Drummond T. Machine learning for high-speed corner detection // Eur. Conf. Comp. Vis. — Springer Berlin Heidelberg, 2006. — P. 430–443.

2.58. Соболев А.Н., Епихин А.М., Епихин А.А., Шашков В.Л. Разработка программного обеспечения для универсального контроллера RedEye

Одной из распространённых задач на промышленном производстве является оптимизация технологического процессов. Она позволяет добиться экономии ресурсов предприятия, повышения качества выпускаемой продукции, а также максимально эффективно загрузить производственные мощности предприятия. Данные задачи весьма эффективно решаются системами оперативного планирования производства класса MES, но для повышения качества необходимо иметь актуальные данные о фактической загрузке оборудования, его производительности в различных режимах и фактических параметрах выполнения технологических операций.

В данной работе рассматривается разработка и исследование системы сбора данных о состоянии оборудования и контроля технологических параметров на базе системы мониторинга RedEye и специализированного контроллера RedEye.

Система построена в виде гетерогенной многоуровневой сети устройств, каждый узел/уровень которой содержит специальное ПО: агенты мониторинга, сбора и агрегации данных, обработки и анализа, визуализации данных. Каждый узел системы при развёртывании конфигурируется/описывается метаданными и в дальнейшем данные, собранные/обработанные на узле, помечаются соответствующими метками/метаданными. Метаданные, используемые для «разметки» агентов сбора данных и, как следствие, собранных данных, позволяют динамически строить/изменять модель предметной области и выполнять обработку данных в сети в соответствии с этой моделью.

В данной работе рассмотрены проблемы управления гетерогенной сетью устройств/агентов данных, управления конфигурациями большого количества устройств сбора данных, проблемы интерпретации и анализа данных в распределённой сети агентов и сервисов обработки данных. В процессе работы над проектом были выполнены проектирование и разработка устройств (контроллеры RedEye) и агентов сбора данных (программное обеспечение).

Контроллер RedEye выполнен на базе ОС Linux, поддерживает различные каналы связи (Ethernet, GSM, CAN, радиоканал 2.4 ГГц) и может обслуживать датчики и оборудование различных типов с использованием различных протоколов (в настоящий момент разрабатывается).

Использование предложенной модели обработки данных и специализированного оборудования позволяет организовать гибкую интеграцию с системами управления производством.

2.59. Соловьев А.А., Резник А.Л., Торгов А.В. Высокопроизводительные компьютерно-аналитические вычисления в задачах обработки случайных точечных изображений

В процессе исследований по оценке надежности регистрации случайных точечных изображений, осуществляемой с помощью апертуры с ограниченным числом пороговых уровней, возникает необходимость в решении следующей задачи: «Требуется найти вероятность того, что в результате случайного бросания n точек на интервал $(0, L)$ не образуется ни одного подынтервала длины ϵ , содержащего более k точек».

Простота поставленной задачи иллюзорна, а ее общее решение на сегодня известно [1] лишь для простейшего случая, когда $k = 1$, но уже при $k = 2$ нахождение даже частных решений требует создания специальных высокопроизводительных программных систем для проведения аналитических преобразований с применением параллельных вычислений [2]. Кроме того, для проведения математически строгого доказательства рассчитанных с помощью ЭВМ формул необходимо расширение классических чисел Каталана на многомерный случай [3].

Проведенная нами работа показывает, что с помощью одновременного применения специализированных программных систем для аналитических преобразований и многомерных чисел Каталана возможно решение многих проблемных комбинаторно-вероятностных задач, связанных с безошибочной регистрацией случайных точечных изображений. Компьютер при этом играет роль интеллектуального «помощника», оснащенного самыми современными средствами для проведения высокопроизводительных аналитических выкладок.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-01-00313), Российской Академии наук (проект № 224 Программы Президиума РАН I.5П) и Сибирского отделения РАН (проект СО РАН — НАН Беларуси № 24/2015).

Список литературы

- [1] PARZEN E. Modern Probability Theory and Its Applications / N.Y.-London: John Wiley & Sons, 1960. — 464 p.
- [2] РЕЗНИК А.Л., ЕФИМОВ В.М., СОЛОВЬЕВ А.А., ТОРГОВ А.В. О надежности считывания случайных точечных объектов при ограниченном числе пороговых уровней сканирующей апертуры // Автометрия. — 2014. — Т. 50, № 6, С. 61–68.
- [3] РЕЗНИК А.Л., СОЛОВЬЕВ А.А., ТОРГОВ А.В. Программно-комбинаторный подход к решению задач безошибочного считывания случайных точечных изображений // Автометрия. — 2016. — Т. 52, № 2, С. 20–27.

2.60. Сорокин А.А., Королев С.П., Урманов И.П., Мальковский С.И. Информационная система для работы GNSS сети ДВО РАН

На юге Дальнего Востока России создана и функционирует сеть геодинимических наблюдений ДВО РАН (далее — Сеть), объединяющая более 20 ГЛОНАСС/GPS приемников Trimble Net R5 и Net R9 [1]. Она обеспечивает формирование потока инструментальных данных, результаты обработки которых используются учеными при исследовании современной геодинимики, активных геоструктур и природных опасностей в Северо-Восточной Азии [2]. В состав Сети входят средства регистрации сигнала, компоненты ИТ-инфраструктуры, обеспечивающие передачу, обработку и хранение данных, а также специализированное программное обеспечение для управления и контроля за указанными технологическими процессами.

Авторами, в составе автоматизированной информационной системы «Сигнал» [3, 4], разработан набор программных средств, направленный на формирование единой информационной среды для контроля состояния программно-аппаратных систем и работы с инструментальными данными сети. Разработанный функционал обеспечивает полный цикл работ с измерительной информацией, включая сбор, конвертацию, специализированную обработку и визуализацию результатов расчетов. Выполнение всех операций и доступ к накопленным архивам данных осуществляются с помощью интерфейса пользователя, реализованного в виде приложения для web-браузера.

Программные компоненты интерфейса программных средств созданы в рамках концепции «Модель — Представление — Контроллер» (MVC). Такой подход позволяет расширять функционал системы на каждом из ее уровней, обеспечивать взаимодействие с различными источниками данных, системами хранения, а также создавать специализированные модули для обработки инструментальных данных. В качестве программной реализации MVC использован фреймворк Yii.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» (проекты № 15-I-4-071, 15-I-4-072) и при поддержке РФФИ (грант № 15-37-20269).

Список литературы

- [1] Быков В. Г., Бормотов В. А., Коковкин А. А. и др. Начало формирования единой сети геодинимических наблюдений ДВО РАН // Вест. ДВО РАН. — 2009. — № 4, С. 83–93.
- [2] SHESTAKOV N. V., OHZONO M., TAKAHASHI H. ET AL. Modeling of coseismic crustal movements initiated by the May 24, 2013, $M_w = 8.3$ Okhotsk deep focus earthquake // Doklady Earth Sci. — 2014. — Vol. 457, N 2, P. 976–981.
- [3] SOROKIN A. A., KOROLEV S. P., URMANOV I. P. ET AL. Software Platform for Observation Networks

Instrumental Data Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences // Proc. Intern. Conf. Comp. Sci. and Env. Eng. (CSEE 2015). — Beijing, May 17–18, 2015. — P. 589–594.

- [4] KOROLEV S. P., SOROKIN A. A., VERKHOTUROV A. L. ET AL. Automated Information System for Instrument Data Processing of the Regional Seismic Observation Network of FEB RAS // Seismic Instruments. — 2015. — Vol. 51, N 3, P. 209–218.

2.61. Сорокин С.П., Сорокина П.Г. Технология решения задач дискретного оптимального управления на базе неравенств Гамильтона — Якоби

Работа посвящена развитию аналитических и численных методов решения нелинейных задач оптимального управления (ОУ) в дискретных динамических системах. Рассматриваемые методы основаны на использовании решений дискретных вариантов неравенств и уравнения типа Гамильтона — Якоби (— Беллмана) [1, 2] и, как уже установлено, приводят к конструктивным результатам, позволяющим строить, помимо всего, численные методы решения задач. В отличие от ряда известных методов, развиваемый подход применим и обоснован в наиболее широком классе задач (например, без предположений типа выпуклости [3]), и приводит к полной системе необходимых и достаточных условий оптимальности. Наряду с самостоятельной значимостью моделей оптимизации в дискретных системах (например, в технике, экономике, биоинженерии и т.д.), такие задачи неизбежно возникают при численной реализации и анализе непрерывных моделей реальных процессов и явлений. Отметим, что изучаемые постановки дискретных задач ОУ не предполагают каких-либо ограничений на структуру управляемой динамической системы и применимы при различных способах дискретизации непрерывной системы. В качестве примера укажем следующую динамическую систему:

$$x_{k+1} = f_k(x_k, u_k), \quad u_k \in U_k, \quad k = \overline{0, N-1},$$

где управление $\{u_k \in R^m\}$ и траектория $\{x_k \in R^n\}$ функции $f_k(x_k, \cdot)$ непрерывны, а множества $U_k \subset R^m$ компактны.

Подход основан на использовании функций $\varphi = \{\varphi_k\}$ — решений следующих неравенств и уравнения типа Гамильтона — Якоби:

$$\min_{u \in U_k} \varphi_{k+1}(f_k(x, u)) - \varphi_k(x) \begin{cases} \leq 0, \\ = 0, \\ \geq 0. \end{cases}$$

Именно переход к рассмотрению суб- и суперрешений уравнения Гамильтона — Якоби во многом отличает развиваемый подход от известных.

Предлагаемые методы будут проиллюстрированы на ряде примеров, в том числе, на модельных задачах динамики финансовых пирамид и противодействия террористическим организациям [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-31-60068).

Список литературы

- [1] Дыхта В. А. Вариационные необходимые условия оптимальности с позиционными управлениями спуска в задачах оптимального управления // Докл. РАН. — 2015. — Т. 462, № 6, С. 653–656.
- [2] Сорокин С. П. Позиционный принцип минимума для задач дискретного оптимального управления // Вест. Тамбовского ун-та. Сер.: Естественные и технические науки. — 2015. — Т. 20, № 5, С. 1447–1451.
- [3] Иоффе А. Д., Тихомиров В. М. Теория экстремальных задач / М.: Наука, 1974. — 481 с.
- [4] FARIA J. R., DANIEL G., ARCE M. Terror support and recruitment // Defence and Peace Econ. — 2005. — Vol. 16, N 4, P. 263–273.

2.62. Старицын М. В., Сорокин С. П. Вычислительная технология решения задач оптимального импульсного управления на основе метода позиционного варьирования

Исследуется задача оптимального управления динамической системой, представленной дифференциальным уравнением с мерами:

$$dx = f(x)dt + g(x)\mu(dt), \quad \mu \in C^*([0, T], \mathbb{R}),$$

$$x(0-) = 0, \quad |\mu|([0, T]) \leq M,$$

где $T, M > 0$ — заданные числа; $x(t) \in \mathbb{R}^n$, $x(t-)$ обозначает левый предел траектории в точке t ; C^* — пространство мер Лебега — Стильеса ($\simeq BV$); $|\mu|$ — полная вариация меры μ .

Модель описывает движение объекта, подверженно-го как обычным (измеримым ограниченным), так и импульсным (мгновенным «шоковым») воздействиям, фазовые траектории которого суть функции ограниченной вариации ($x \in BV$).

Предложена вычислительная технология решения задачи, представляющая собой комбинацию двух подходов — сведения задачи импульсного управления к стандартной вариационной проблеме с измеримыми существенно ограниченными управлениями, отягощенной специального вида терминальным ограничением, посредством разрывной замены времени [1] и итерационного алгоритма последовательного улучшения управлений на основе метода «позиционного» варьирования опорного управляющего воздействия [2].

Результаты применения разработанной технологии иллюстрируются на примере численного исследования задачи максимизации возбуждения двухуровневого атома из лазерной технологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 16-31-60030, 16-31-60068 и 16-31-00184).

Список литературы

- [1] Миллер Б. М., Рубинович Е. Я. Оптимизация динамических систем с импульсными управлениями / М.: Наука, 2005.
- [2] Дыхта В. А. Вариационные необходимые условия оптимальности с позиционными управлениями спуска в задачах оптимального управления // Докл. РАН. — 2015. — Т. 462, № 6, С. 653–656.

2.63. Старолетов С. М. Разработка вероятностного расширения верификатора Spin

Известно, что задача верификации программного обеспечения актуальна сегодня для программных систем, работающих в критических областях техники, например, в авионике, в космотехнике, в системах жизнеобеспечения, причем верификация доказывает корректность соответствия модели программы на всех исходных данных некоторым требованиям, взятых из технического задания или спецификации работы системы. В работе рассматриваются требования, выраженные в форме предикатов темпоральной логики линейного времени LTL.

Для решения задачи верификации применяются специальные программы-верификаторы. В работе рассматривается верификатор Spin [1], поскольку для описания моделей в нем используется С-подобный язык, основанный на акторном подходе Promela, и требования к системе выражаются в LTL. В работе исследуется возможность добавления вероятностной составляющей в программы на Promela путем изменения грамматики языка для анализатора уасс. Исходные коды верификатора доступны. Поскольку в Promela существуют недетерминированные переходы, то такие переходы можно расширить, задав их вероятность. Это позволит для каждой финальной цепочки знать вероятность достижения финального состояния и любого промежуточного. Используя для значений вероятностей переменные, станет возможным осуществлять их верификацию с использованием уже существующих алгоритмов в Spin согласно требованиям LTL, включающих вероятности переходов. Этот подход отличается от подхода Probabilistic model checking [2].

Предлагаемый подход может быть использован при конструировании вероятностных систем на основе подхода MDD с генерацией кода на Promela для верификации такой системы [3].

Список литературы

- [1] Spin Verifier / URL: <http://spinroot.com>.
- [2] ELIOSOF J. Calculating the probability of an LTL formula over a labeled Markov chain / URL: <http://users.openface.ca/cobe/thesis/thesis.pdf>.
- [3] STAROLETOV S. Model Driven Developing & Model Based Checking: Applying Together / URL: <http://www.slideshare.net/IosifItkin/model-driven-developingmodelbasedchecking>.

2.64. Тихомиров А.И., Баранов А.В. Планирование заданий в территориально распределенной системе с абсолютными приоритетами

Работа посвящена созданию модели территориально распределенные системы (ТРС) с абсолютными приоритетами. ТРС объединяет высокопроизводительные вычислительные установки, каждая из которых находится под управлением одной из систем пакетной обработки — PBS, Load Leveler, SLURM, Moab, или отечественной системы управления прохождением параллельных заданий (СУППЗ). Основной единицей вычислительной работы в ТРС является вычислительное задание.

В процессе исследования модели были выделены две главные отличительные особенности. Первая — планирование заданий осуществляется с использованием единой для всех вычислительных установок ТРС системы абсолютных приоритетов. Вторая особенность, логически следующая из первой, заключается в том, что использование абсолютных приоритетов делает затруднительным составление расписания запусков заданий [1, 2].

Применение системы абсолютных приоритетов предполагает, что основным показателем эффективности планирования является минимизация среднего времени обработки высокоприоритетных заданий. Под временем обработки понимается временной интервал от момента поступления задания в ТРС до момента окончания выполнения на вычислительных ресурсах вычислительной установки.

Проведенный авторами анализ существующих подходов к построению ТРС показал, что в большинстве случаев исследователи рассматривают модели ТРС с равными или относительными приоритетами заданий. Применение в модели ТРС с абсолютными приоритетами алгоритмов планирования, изученных подходов, оказалось затруднительным. В связи с чем авторы предложили собственный алгоритм планирования, при разработке которого были использованы следующие подходы: событийно-ориентированный подход к планированию ресурсов; многоуровневое планирование вычислительных ресурсов ТРС; контроль загруженности вычислительных установок, входящих в состав ТРС; высокоприоритетное планирование вычислительных заданий; эвристический коэффициент «совместимости» характеристик вычислительных заданий и целевой вычислительной установки [3].

В соответствии с рассмотренной моделью ТРС, авторами подготовлен макет подобной ТРС, в котором планирование вычислительных ресурсов осуществляется с использованием разработанного алгоритма. Опытная эксплуатация макета подтвердила жизнеспособность предложенного подхода.

Список литературы

- [1] Коваленко В.Н., Коваленко Е.И., Корягин Д. А. Планирование ресурсов Grid на основе локальных расписаний. — М.: Ин-т прикл. мат., 2008.
- [2] Коваленко В.Н., Коваленко Е.И., Шорин О.Н. Разработка диспетчера заданий грид, основанного на опережающем планировании. — М.: Ин-т прикл. мат., 2005.
- [3] Топорков В.В., Емельянов Д.М., Потехин П. А. Формирование и планирование пакетов заданий в распределенных вычислительных средах // Вест. ЮУрГУ. Сер.: «Выч. мат. и информ.». — 2015. — № 2, С. 21–24.

2.65. Угриновский Н.В. Бизнес-игра «Завод»

Информационные технологии, в связи с интенсивным распространением во все сферы деятельности и с быстрым ростом популярности и востребованности, очень редко применяются для организации образовательных процессов, в частности обучения предпринимательской деятельности. На данный момент практически отсутствуют системы, предоставляющие функционал для проведения онлайн-обучения начинающих предпринимателей.

В целях развития и распространения в России онлайн-образования для начинающих предпринимателей, Общероссийская общественная организация малого и среднего предпринимательства «ОПОРА России» предложила реализовать информационную систему по бизнес-игре «Завод».

Система позволяет активизировать мыслительную деятельность начинающих предпринимателей, симулировать бизнес-процессы, эквивалентные реальным, протекающим в большинстве бизнес-отраслей. Она вводит в основы торгово-предпринимательской деятельности и позволяет развить творческий потенциал в решении множества задач реального бизнеса в области обучения персонала, маркетинга и стратегического управления.

Система также позволяет:

- вести упрощенный бухгалтерский учет с элементами автоматизации с возможностью просмотра данных на графиках;
- управлять виртуальными банковскими счетами;
- управлять списком штрафов, премий и кредитов;
- автоматизировать управление заказами при помощи штрих-кодов.

Преимуществом использования описанной системы является отсутствие необходимости устанавливать на каждую рабочую станцию пользователя программное обеспечение, чем будет обеспечена высокая мобильность.

Разработанная система протестирована во время проведения заказчиком III Всероссийского молодежного бизнес-форума «Слет успешных предпринимателей» в 2015 г. в Тюменской области при участии 500 человек.

2.66. Усталов Д.А. Средства построения лексической онтологии при помощи краудсорсинга

Работа посвящена исследованию и разработке методов построения лексической онтологии русского языка при помощи краудсорсинга [1]. Предлагается гибридная человеко-машинная система интеграции и выравнивания семантических ресурсов неизвестного качества, основанная на принципе «человек как сопроцессор». Выполнение трудноформулируемых заданий делегируется людям, участвующим в процессе краудсорсинга на основе микрозадач. Микрозадачи предполагают выявление связанности слов и понятий на специализированной платформе. Система включает четыре этапа работы:

1. объединение существующих ресурсов и синтез гипотез об отдельных значениях слов;
2. формирование понятий путём выполнения микрозадач о лексических замещениях слов [2];
3. синтез гипотез о родо-видовых отношениях между понятиями на основе статистической модели;
4. формирование родо-видовых отношений путём проверки гипотез на основе микрозадач [3].

Проведено эмпирическое исследование предлагаемых методов путём сопоставления с «золотым стандартом». Результаты подтверждают эффективность использования данных методов для формирования онтологий предметных областей. Выполнение микрозадач осуществлялось на платформе «Яндекс.Толока» в сети Интернет.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-37-00354 мол_а).

Научный руководитель — к.т.н. Созыкин А. В.

Список литературы

- [1] Усталов Д. А. Коллективные потоковые вычисления: реляционные модели и алгоритмы // Моделир. и ан. информ. сист. — 2016. — Т. 23, № 2, С. 195–210.
- [2] Усталов Д. А., Игушкин С. А. Система построения русскоязычных лексических ресурсов на основе лексических замещений // Тез. докл. III Междунар. мол. науч. конф. «Физ. Технол. Инновации» (ФТИ-2016). — Екатеринбург: УрФУ, 2016. — С. 504–505.
- [3] USTALOV D. A. Crowdsourcing Synset Relations with Genus-Species-Match // Art. Intel. and Natural Lang. and Inform. Extraction, Social Media and Web Search FRUCT Conf. (AINL-ISMW FRUCT). — SPb.: ITMO Univ. & FRUCT Oy, 2015. — P. 118–124.

2.67. Финкельштейн Е.А., Горнов А.Ю., Бакланов А.П. Вычислительные технологии аппроксимации множеств достижимости применительно к исследованию климатическо-экономической модели

Решение задач оптимального управления и исследование нелокальных свойств динамических систем неразрывно связано с исследованием геометрии множества достижимости (МД). Построение

аппроксимаций МД нелинейной системы является сложной вычислительной задачей, и, несмотря на то что, разработано большое количество различных методов, представляется целесообразным продолжение работ по созданию новых алгоритмов аппроксимации, позволяющих повысить надежность получаемых оценок.

Авторами предложен набор алгоритмов, направленных на получение внешних и внутренних оценок, а также аппроксимаций границы МД. В качестве приложения сконструированных подходов проведено исследование множества достижимости практической климатическо-экономической DICE модели (Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy [1]), описывающей влияние климатических факторов на промышленность и строительство. Ранее исследовалась упрощенная двумерная постановка, в настоящей работе рассматривается более полная нелинейная модель с шестью переменными и длинным временным горизонтом, для чего были использованы алгоритмы, не имеющие ограничений на размерность. В расширенной модели за счет существенной нелинейности выявлено изменение формы множества в зависимости от времени. Изучалась задача оптимального управления инвестициями, вкладываемыми в развитие экономики и сохранения экологии, а построение МД позволило оценить динамику и влияние различных режимов на экономику в целом.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-07-03827).

Список литературы

- [1] NORDHAUS W.D. Managing the Global Commons. The Economics of Climate Change / MIT Press, 1994. — 223 p.

2.68. Хайдаров Ш.М. Методы извлечения метаданных научных публикаций на основе структурного и семантического анализа документов

Предложены структурные и семантические методы извлечения метаданных публикаций из больших коллекций физико-математических документов. Разработаны системы сервисов автоматизированной обработки научных документов. Сервисы обеспечивают проверку соответствия документов правилам формирования коллекций и их преобразование в установленные форматы; структурный анализ документов и извлечение метаданных, а также подготовку различных типов изданий научных материалов с выбором и дальнейшей корректировкой их структуры.

Семантическая разметка документов коллекции выполняется в автоматическом режиме на основе информации о структурном строении каждого документа и особенностях его форматирования [1]. Коллекция разбивается на классы документов, сходных

по структуре, для каждого из них создан набор паттернов регулярных выражений. Разработан алгоритм выделения информационных блоков документа (название статьи, список авторов, аффилиация, блок литературы и т.д.). Это позволило использовать семантические инструменты работы с электронным контентом (см., например, [2]) и формировать в автоматическом режиме новые виды документов. Организована система навигации (по названию, авторам, ключевым словам и т.д.).

Описанные методы были использованы при обработке материалов XI Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Казань, 20–24 августа 2015 г.).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-47-02472) и Правительства Республики Татарстан.

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

Список литературы

- [1] Елизаров А. М., Липачёв Е. К., Хайдаров Ш. М. Автоматизированная система структурной и семантической обработки физико-математического контента // Ученые записки ИСГЗ. — 2016. — № 1 (14), С. 210–215.
- [2] Шокин Ю. И., Федотов А. М., Барахнин В. Б. Проблемы поиска информации / Новосибирск: Наука, 2010. — 150 с.

2.69. Хаятова В. Д. Разработка алгоритма автоматизированного создания метрических справочников по русской поэзии

Составление метрических справочников к корпусу стихов того или иного поэта, содержащих сведения о системах стихосложения, размерах, каталектике, строфике, метрической композиции стихотворений, а также словарей рифм и конкордансов — важная задача литературоведения. Эти справочники и словари важны как для непосредственного изучения художественной техники поэта, так и в качестве основы для исследования влияния нижних уровней структуры стиха на высшие. Однако их составление — весьма трудоемкий процесс. Поэтому целью работы является создание алгоритмов для автоматической генерации метрических справочников.

В качестве исходных данных выступает как информация, полученная посредством ручного анализа стихов и определения их метро-ритмических характеристик, так и результат работы приложений для автоматического анализа (например, веб-приложение [1]). В качестве примера был использован известный метрический справочник [2], на его основе разработано описание таблиц, которые мы получаем в результате работы алгоритма. В ходе работы над проектом были проанализированы разработки для автоматического анализа поэтического текста, составлено описание таблиц; разработано приложение на языке Python, позволяющее сформировать базу данных, используя выяв-

ленные метро-ритмические характеристики поэтического текста. С помощью приложения возможно проанализировать творчество поэта более обширно, опираясь на данные, представленные в табличной, удобной для пользователя форме.

Эффективность разработки состоит в уменьшении временных затрат на рутинную работу по подсчету и составлению таблиц литературоведами. В настоящее время ведется работа по интеграции разработки с системой, которая производит комплексный анализ поэтического текста.

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

Список литературы

- [1] БАРАХНИН В. Б., КОЖЕМЯКИНА О. Ю., ЗАБАЙКИН А. В. Анализ поэтических текстов онлайн / Адрес доступа: <http://poem.ict.nsc.ru>.
- [2] ЛАПШИНА Н. В., РОМАНОВИЧ И. К., ЯРХО Б. И. Метрический справочник к стихотворениям А. С. Пушкина / М.; Л.: Academia, 1934. — 144 с.

2.70. Чернскутов М. А. Использование параллельных вычислений для обработки графов

В настоящее время алгоритмы на графах активно используются в различных отраслях науки, промышленности и бизнеса, таких как биоинформатика, анализ социальных сетей, извлечение знаний из данных и т.д. Во многих случаях, большие размеры обрабатываемых графов предполагают их обработку на параллельных вычислительных системах [1]. Однако эффективному распараллеливанию алгоритмов на графах препятствует ряд обстоятельств, таких как интенсивный доступ к памяти и заранее неизвестное (в общем случае) распределение данных по узлам вычислительной системы [2].

Данный доклад посвящен методам, позволяющим ускорить параллельную обработку графов за счет распределения вычислительной нагрузки по потокам и сочетания подходов к реализации поиска в ширину на графе с «прямым» и «обратным» направлением обхода [3].

Разработанные методы позволяют значительно ускорить параллельные версии таких алгоритмов как поиск в ширину, поиск кратчайших путей и поиск сообществ в графах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-37-00203-мол_а).

Список литературы

- [1] NEWMAN M. E. J. The structure and function of complex networks // SIAM Rev. — 2003. — Vol. 45, P. 167–256.
- [2] LUMSDAINE A., GREGOR D., HENDRICKSON B., BERRY J. W. Challenges in Parallel Graph Processing // Parallel Proc. Lett. — 2007. — Vol. 17, P. 5–20.
- [3] BEAMER S., ASANOVIC K., PATTERSON D. Direction-optimizing breadth-first search // Proc. Intern. Conf. High Perf. Comput., Networ., Storage and Anal. — Salt Lake City, Utah, USA, 2012. — P. 12–22.

2.71. Шукин Г.А. Локальный алгоритм распределения данных и динамической балансировки нагрузки в технологии фрагментированного программирования для двумерных структур данных и топологий вычислительной сети

Доклад посвящен разработке распределенного локального алгоритма динамической балансировки нагрузки и распределения данных для технологии фрагментированного программирования и системы LuNA [1] в частности. В терминах фрагментированного программирования программа состоит из множества данных и использующих их вычислений. Для исполнения программы на вычислительной машине с распределенной памятью выполняется начальное распределение данных и вычислений по вычислительным узлам. При дисбалансе нагрузки производится перераспределение данных и вычислений между вычислительными узлами.

Особенностью разработанного алгоритма является стремление к сохранению локальности зависимых данных при их распределении и балансировке нагрузки. Предыдущая версия алгоритма [2,3] использовала отображение данных на одномерную пространственную кривую Гильберта и не могла обеспечить полную локальность для двумерных структур данных и/или двумерной топологии вычислительной сети. Представленная в работе версия алгоритма решает эти проблемы, она специально нацелена на использование в двумерной топологии (типа «решетка»), а также может быть расширена до трех и больше измерений.

Список литературы

- [1] MALYSHKIN V. E., PEREPEL'KIN V. A. LuNA Fragmented Programming System, Main Functions and Peculiarities of Run-Time Subsystem // 11th Conf. on Parallel Comp. Technologies (PaCT-2011). — Springer, LNCS, 2011. — Vol. 6873, P. 53–61.
- [2] MALYSHKIN V., PEREPEL'KIN V., SCHUKIN G. Scalable distributed data allocation in LuNA fragmented programming system // The J. Supercomputing. — 2016. — P. 1–7.
- [3] MALYSHKIN V. E., PEREPEL'KIN V. A., SCHUKIN G. A. Distributed Algorithm of Data Allocation in the Fragmented Programming System LuNA // 13 Intern. Conf. on Parallel Comp. Technologies (PaCT-2015). — Springer, LNCS, 2015. — Vol. 9251, P. 80–85.

2.72. Янькова Г.С., Черевко А.А., Мальцева С.В., Паршин Д.В., Акулов А.Е., Хе А.К., Чупахин А.П. Восстановление сосудистой сети головного мозга по данным МР-томографии

Изучение вариативности строения кровеносной системы представляет интерес как в научном плане, так и с точки зрения приложений. Естественным является предположение о связи генотипа и устройства сосудистой сети. В работе рассматриваются модели сосудистых сетей головного мозга двух раз-

личных генетических линий лабораторных мышей. Цель работы состоит в сравнении строения сосудистых сетей животных этих генетических линий.

Для построения конфигураций сосудистых сетей успешно применяется магнитно-резонансная томография (МРТ). С математической точки зрения томографические данные $A(x, y, z)$ представляют собой зависимость $A(x, y, z) = F(\mathbf{v}(x, y, z), \mathbf{n})$ от вектора скорости течения крови $\mathbf{v}(x, y, z)$ в точке (x, y, z) и вектора нормали \mathbf{n} к сканирующей плоскости. Задача выделения сосудистой сети состоит в нахождении границ области $V = \{(i, j, k) : A_{ijk} > A_0\}$, где A_0 — значение интенсивности, разделяющее сосуды и не сосуды. Однако, при наличии сильных извитостей и сужений сосудов в восстановленных трехмерных конфигурациях, наблюдаются прерывания сосудов в тех местах, где поток в сосуде параллелен плоскости сканирования. Для преодоления описанной проблемы прерывания сосудов был предложен метод варьирования наклона сканирующей плоскости [1].

Метод варьирования наклона сканирующей плоскости состоит в проведении сканирования объекта несколькими наборами параллельных плоскостей, пересчете всех собранных данных на единую сеточную область и комбинации (некоторым образом) пересчитанных данных. Используемые наборы плоскостей задаются различными векторами нормали. Непосредственное построение сосудистой сети реализуется по полученным комбинированным данным с использованием программного обеспечения для сегментации изображений.

Для построенных моделей проведены гемодинамические расчеты с помощью пакета ANSYS CFX на базе компьютерного центра НГУ. На основе полученных конфигураций был выполнен статистический анализ параметров кровотока.

В работе [2] с использованием метода варьирования наклона сканирующей плоскости реализовано построение моделей сосудистого русла для лабораторных животных двух генетических линий. На основе данных, полученных в результате статистического и численного анализа, для двух генетических линий мышей показано отсутствие влияния нокаута по ФНО на морфологические и гидродинамические характеристики Виллизиева круга.

Список литературы

- [1] MALTSEVA S. V., CHEREVKO A. A., KHE A. K. ET AL. Reconstruction of Complex Vasculature by Varying the Slope of the Scan Plane in High-Field Magnetic Resonance Imaging // Appl. Magn. Reson. — 2016. — P. 23–39.
- [2] CHEREVKO A. A., YANKOVA G. S., MALTSEVA S. V. ET AL. Construction and investigation of 3D vessels net of the brain according to MRI data using the method of variation of scanning plane // J. Phys.: Conf. Ser. 722012029, 2016.

Алфавитный указатель

Reisswich Maria

Technische Universität München

(Мюнхен), Германия

maria.reisswich@tum.de

Программа/тезисы: стр. 24, 31

Абашин Руслан Сергеевич

Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

abashin.r.s@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 9, 27

Абрамов Тимофей Владимирович

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), Россия

AbramovTV@ipgg.sbras.ru

Программа/тезисы: стр. 20, 27

Аввакумов Илья Леонидович

Уральский федеральный университет (Екатеринбург), Россия

Программа/тезисы: стр. 9, 37

Авраменко Юрий Владимирович

Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

avramenko@icc.ru

Программа/тезисы: стр. 11, 79

Акулов Андрей Евгеньевич

Институт цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск), Россия

Программа/тезисы: стр. 17, 112

Алеев Никита Ринатович

Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

aleevnick@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 22, 27

Алипова Ксения Александровна

Томский государственный университет (Томск), Россия

aka@math.tsu.ru

Программа/тезисы: стр. 23, 28

Аненков Александр

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (Новосибирск), Россия

alex.anenkov@outlook.com

Программа/тезисы: стр. 12, 79

Антипова Екатерина Андреевна

Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

antipova_aea@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 15, 28

Апанович Данил Владимирович

Иркутский государственный технический университет (Иркутск), Россия

dvapan@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 26, 83

Архинов Дмитрий Александрович

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), Россия

Программа/тезисы: стр. 23, 29

Бабин Сергей Алексеевич

Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия

Программа/тезисы: стр. 25, 99

Бакиева Айгерим Муратовна

Высший колледж информатики Новосибирского государственного университета (Новосибирск), Россия

m_aigerim0707@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 11, 80

Бакланов Артем Павлович

Институт математики и механики УрО РАН (Екатеринбург), Россия

Программа/тезисы: стр. 26, 110

Баранов Антон Викторович

Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН (Москва), Россия

Программа/тезисы: стр. 17, 109

Батуева Цындыма Чимит-Доржиевна

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия

batueva@math.nsc.ru

Программа/тезисы: стр. 21, 29

Бедарев Николай Андреевич

Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

Программа/тезисы: стр. 12, 80

Беднякова Анастасия Евгеньевна

Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

anastasia.bednyakova@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 18

Беликова Марина Юрьевна

Горно-Алтайский государственный университет (Горно-Алтайск), Россия

BelikovaMY@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 12, 81

Белоусова Дарья Александровна

Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

queen.rana@rambler.ru

Программа/тезисы: стр. 25, 81

Беляев Василий Алексеевич

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
belyaevasily@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 9, 30

Беляев Николай Алексеевич

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия*
bl0ckzer01@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 17, 100

Берендеев Евгений Андреевич

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия*
evgeny.berendeev@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 8, 30, 40

Бесполудин Владислав Валерьевич

*Южный федеральный университет
(Ростов-На-Дону), Россия*
vladislav.bespoludin@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 64

Бессмельцев Виктор Павлович

*Институт автоматизации и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 9, 36

Блохин Александр Михайлович

*Институт математики им. С.Л. Соболева
СО РАН (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 19, 48

Боганюк Юлия Викторовна

*Тюменский государственный университет
(Тюмень), Россия*
j.boganuk@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 12, 82

Бодякин Евгений Владимирович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
buravil@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 16, 82

Бондарева Любовь Васильевна

*Кемеровский государственный университет
(Кемерово), Россия*
l.v.kemerova@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 18, 31

Борд Елизавета Евгеньевна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
bord.elizaveta@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 19, 75

Борзилова Юлия Сергеевна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
borzilova.1993.yula@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 11, 83

Булусhev Евгений Дмитриевич

*Институт автоматизации и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 9, 36

Бурмистров Александр Васильевич

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН,
Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
burm@osmf.sccc.ru

Программа/тезисы: стр. 8, 24, 31, 47

Бутько Леонид Николаевич

*Челябинский государственный университет
(Челябинск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 8, 43

Быков Артём Александрович

*Институт космических и информационных тех-
нологий Сибирского федерального университета
(Красноярск), Россия*
oxumogon13@hotmail.com

Программа/тезисы: стр. 16, 83

Быков Дмитрий Александрович

*Самарский национальный исследовательский
университет им. ак. С.П. Королева
(Самара), Россия*

Программа/тезисы: стр. 9, 34

Викулин Александр Васильевич

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

Программа/тезисы: стр. 33

Витова Татьяна Брониславовна

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*
vitova@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 21, 31

Вольф Алексей Анатольевич

*Институт автоматизации и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 25, 99

Воронов Всеволод Александрович

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*
v-vor@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 26, 83, 84

Вьюнник Наталья Михайловна

*Кемеровский государственный университет
(Кемерово), Россия*

kot.gerasim@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 20, 32

Вяткин Александр Владимирович

*Сибирский федеральный университет
(Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 18, 50

Гаврилюк Анатолий Петрович

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 9, 42

Гермидер Оксана Владимировна

*Северный (Арктический) федеральный
университет им. М.В. Ломоносова
(Архангельск), Россия*

o.germider@narfu.ru

Программа/тезисы: стр. 14, 32

Герус Артем Игоревич

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

gerus@kscnet.ru

Программа/тезисы: стр. 16, 33, 87

Гиниятуллина Ольга Леоновна

*Институт вычислительных технологий СО РАН,
кемеровский филиал (Кемерово), Россия*

skiporol@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 16, 84, 105

Главный Владимир Геннадьевич

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

Программа/тезисы: стр. 18, 46, 93

Гладких Анна Сергеевна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*

mikasa.vol@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 11, 85

Глебова Алена Викторовна

*Горно-Алтайский государственный университет
(Горно-Алтайск), Россия*

glebova-alena-1991@ya.ru

Программа/тезисы: стр. 12, 81

Глинских Вячеслав Николаевич

*Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
(Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 24, 39

Гоголева Анна Николаевна

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*

annagogley@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 21, 33

Головастикова Никита Владимирович

*Самарский национальный исследовательский
университет им. ак. С.П. Королева*

(Самара), Россия

nikita.golovastikov@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 9, 34

Гологуш Татьяна Сергеевна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*

tatiana_06.08@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 19, 35

Голушко Сергей Кузьмич

*Конструкторско-технологический институт
научного приборостроения СО РАН*

(Новосибирск), Россия

Программа/тезисы: стр. 22, 27

Горнов Александр Юрьевич

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 26, 110

Городилов Михаил Андреевич

*Институт автоматики и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия*

gorodilovm@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 25, 85

Горский Сергей Алексеевич

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*

gorsky@icc.ru

Программа/тезисы: стр. 11, 85

Григорьев Александр Евгеньевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*

alexmersemain@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 19, 35

Григорьев Андрей Викторович

*Тюменский государственный университет
(Тюмень), Россия*

107th@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 11, 86, 94

Гришин Максим Александрович

*Институт автоматики и электрометрии
СО РАН,*

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
СО РАН*

(Новосибирск), Россия

grishinmax1@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 9, 36

Гришина Анастасия Александровна

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН*

(Новосибирск), Россия

a.a.grishina17@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 13, 36

Грищенко Максим Андреевич

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 23, 88

Гусев Олег Игоревич

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
gusev_oleg_igor@mail.ru
Программа/тезисы: стр. 14, 36

Данеева Шанар Александровна

*Институт систем информатики
им. А.П. Ершова СО РАН (Новосибирск), Россия*
dshanara@gmail.com
Программа/тезисы: стр. 11, 86

Данилкин Евгений Александрович

*Томский государственный университет
(Томск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 52

Двойнишников Сергей Владимирович

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
СО РАН (Новосибирск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 93

Дементьева Екатерина Васильевна

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*
lionesskate@gmail.com
Программа/тезисы: стр. 19, 37

Дикушина Елена Александровна

*Уральский федеральный университет
(Екатеринбург), Россия*
eadikushina@gmail.com
Программа/тезисы: стр. 9, 37

Добролюбова Дарья Владимировна

*Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
(Новосибирск), Россия*
dobrolyubovad@ngs.ru
Программа/тезисы: стр. 8, 38

Долгая Анна Андреевна

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
(Петропавловск-Камчатский), Россия*
adolgaya@ksnet.ru
Программа/тезисы: стр. 16, 87

Долгов Андрей Александрович

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*
Fire1107@mail.ru
Программа/тезисы: стр. 13, 38

Долгов Дмитрий

*Кемеровский государственный университет
(Кемерово), Россия*
9erthalion6@gmail.com
Программа/тезисы: стр. 19, 39

Долговесов Борис Степанович

*Институт автоматики и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 25, 85

Дородных Никита Олегович

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*
tualatin32@mail.ru
Программа/тезисы: стр. 23, 88, 97

Досколович Леонид Леонидович

*Самарский национальный исследовательский
университет им. ак. С.П. Королева
(Самара), Россия*
Программа/тезисы: стр. 9, 34

Достовалов Александр Владимирович

*Институт автоматики и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 25, 99

Дудаев Александр Русланович

*Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
(Новосибирск), Россия*
Dudaev.Sasha@live.ru
Программа/тезисы: стр. 24, 39

Дудникова Галина Ильинична

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 8, 30

Дучков Антон Альбертович

*Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
(Новосибирск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 23, 24, 55, 57, 68

Евстигнеев Николай

*Федеральный исследовательский центр
«Информатика и управление» РАН
(Москва), Россия*
evstigneevnm@yandex.ru
Программа/тезисы: стр. 14, 40

Егоров Юрий Алексеевич

*Тюменский государственный университет
(Тюмень), Россия*
yurij.a.egorov@gmail.com
Программа/тезисы: стр. 25, 88

Епихин Александр Андреевич

*Специальное конструкторско-технологическое
бюро «Наука» Красноярского научного центра
СО РАН (Красноярск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 17, 25, 90, 106

Епихин Андрей Михайлович

*Специальное конструкторско-технологическое
бюро «Наука» Красноярского научного центра
СО РАН (Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 17, 25, 90, 106

Ершов Александр Евгениевич

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 9, 42

Есипенко Сергей Павлович

*Алтайский государственный технический
университет (Барнаул), Россия*
yesipenko_sergei@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 17, 89

Ефимова Анна Анатольевна

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия*

anna.an.efimova@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 8, 40

Ефимова Анна Анатольевна

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия*

anuta_e@ngs.ru

Программа/тезисы: стр. 8, 30

Жарков Максим Леонидович

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*
zharkm@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 25, 89

Жданов Дмитрий Сергеевич

ООО «Диагностика+» (Томск), Россия
dim@diagnostic.tom.ru

Программа/тезисы: стр. 47

Железнова Алена Андреевна

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*
zheleznova.alyna1994@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 18, 40

Заплетина Мария Андреевна

*Институт проблем проектирования
в микроэлектронике РАН (Зеленоград), Россия*
zapletina_mariya@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 9, 41

Зарубин Антон Александрович

*Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М.А.Бонч-Бруевича
(Санкт-Петербург), Россия*

Программа/тезисы: стр. 11, 94

Зимин Антон

*Кемеровский государственный университет
(Кемерово), Россия*
sliii@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 14, 42

Зюбин Владимир Евгеньевич

*Институт автоматики и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 11, 12, 25, 96, 99, 105

Ивашко Александр Григорьевич

*Тюменский государственный университет
(Тюмень), Россия*

Программа/тезисы: стр. 22, 45, 94

Игошин Дмитрий Евгеньевич

*Тюменский филиал Института теоретической
и прикладной механики им. С.А. Христиановича
СО РАН (Тюмень), Россия*

igoshinde@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 19, 74

Ильина Татьяна Сергеевна

*Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики
(Новосибирск), Россия*

tosibguti@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 11, 102

Исаев Иван Леонидович

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*
1@crownet.ru

Программа/тезисы: стр. 9, 42

Иткина Наталья Борисовна

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 14, 55

Ицкович Мария Александровна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
mariya.itskovich@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 24, 42

Кабанов Алексей Анатольевич

*Специальное конструкторско-технологическое
бюро «Наука» Красноярского научного центра
СО РАН,*

*Тувинский институт комплексного освоения
природных ресурсов СО РАН
(Красноярск), Россия*

weller86@inbox.ru

Программа/тезисы: стр. 90

Казанцева Алена Алексеевна

*Горно-Алтайский государственный университет
(Горно-Алтайск), Россия*

albesik@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 12, 81

Калганов Дмитрий Александрович

*Челябинский государственный университет
(Челябинск), Россия*

kalganov@csu.ru

Программа/тезисы: стр. 8, 43

Калганова Татьяна Александровна

*Челябинский государственный университет
(Челябинск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 8, 43

Каличкин Артем Олегович

ЗАО «Золотая корона» (Новосибирск), Россия

Программа/тезисы: стр. 11, 83

Канашкин Антон Андреевич

*ООО «Системы промышленной автоматизации»
(Красноярск), Россия*

antonka@dmddevelopment.ru

Программа/тезисы: стр. 17, 90

Каргов Павел Николаевич

*Ульяновский государственный технический уни-
верситет (Ульяновск), Россия*

p.n.kargov@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 91

Кардашин Андрей Сергеевич

*Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики» (Москва), Россия*

kardashin.andrey@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 10, 44

Карелин Вадим Александрович

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

vad2hen@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 9, 44

Каропова Евгения Дмитриевна

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 19, 37

Карякин Иван Юрьевич

*Тюменский государственный университет
(Тюмень), Россия*

ivan_nyc@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 22, 45

Кашинцев Марк

*Тюменский государственный университет
(Тюмень), Россия*

kotevode@icloud.com

Программа/тезисы: стр. 17, 91

Кензин Максим Юрьевич

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*

gorthauers@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 45

Киндинова Виктория Валерьевна

*Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет)
(Москва), Россия*

hamstervill@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 92

Киреев Игорь Валерьевич

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 19, 37

Кириловский Станислав Викторович

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 14, 63

Клименко Александра Игоревна

*Институт цитологии и генетики СО РАН
(Новосибирск), Россия*

Yasana1990@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 25, 92

Климов Антон Владиславович

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

klimovantonnsu@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 18, 46, 93

Кобенко Сергей Викторович

*Нижевартовский государственный университет
(Нижевартовск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 22, 72

Козлова Софья Владимировна

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*

sonique@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 14, 46

Кондратьев Дмитрий Александрович

*Институт систем информатики
им. А.П. Ершова СО РАН (Новосибирск), Россия*

apple-66@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 11, 93

Королев Сергей Павлович

*Вычислительный центр ДВО РАН
(Хабаровск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 16, 107

Коротченко Мария Андреевна

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия*

kmaria@osmf.sscs.ru

Программа/тезисы: стр. 8, 24, 31, 47

Костелей Яна Валерьевна

ООО «Диагностика+» (Томск), Россия

yaninabaler@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 47

Краханов Антон Анатольевич

Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия
krahalyovanton@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 24, 48

Кречетова Светлана Юрьевна

Горно-Алтайский государственный университет
(Горно-Алтайск), Россия
KrechetovaS@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 12, 81

Кривошеина Марина Николаевна

Институт физики прочности
и материаловедения СО РАН (Томск), Россия
Программа/тезисы: стр. 22, 72

Кринецкий Евгений Олегович

Интеллектуальные системы безопасности
(Москва), Россия

Программа/тезисы: стр. 92

Кропотин Александр Александрович

Тюменский государственный университет
(Тюмень), Россия

xmlhttprequest@list.ru

Программа/тезисы: стр. 94

Круглова Екатерина Алексеевна

Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия
sl2857@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 19, 48

Крылова Алла Ивановна

Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия

Программа/тезисы: стр. 15, 28

Крюков Артём Евгеньевич

Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия

Программа/тезисы: стр. 21, 52

Кузьменко Владимир Дмитриевич

Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия
wtraktorman94@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 16, 96

Кузьмин Георгий Андреевич

Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия
kubgeom@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 21, 49

Куликов Дмитрий Викторович

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

Программа/тезисы: стр. 18, 46

Куликов Игорь Михайлович

Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия

kulikov@ssd.sccc.ru

Программа/тезисы: стр. 24, 49

Курако Михаил Александрович

Сибирский федеральный университет
(Красноярск), Россия

mkurako@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 16, 16, 83, 94

Кутищева Анастасия Юрьевна

Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
(Новосибирск), Россия

Kutischeva.Anastasia@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 22, 49

Кучунова Елена Владимировна

Сибирский федеральный университет
(Красноярск), Россия

HKuchunova@sfu-kras.ru

Программа/тезисы: стр. 18, 50

Кызыльоров Олег Евгеньевич

Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
(Санкт-Петербург), Россия

anomind@ya.ru

Программа/тезисы: стр. 11, 94

Лавин Василий Николаевич

Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия

lapdump@ngs.ru

Программа/тезисы: стр. 18

Лавтев Михаил Александрович

Алтайский государственный технический
университет (Барнаул), Россия
m.lapteva93@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 95

Латышев Андрей Александрович

Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия
andrash.late@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 21, 50

Лавин Сергей Александрович

Институт цитологии и генетики СО РАН
(Новосибирск), Россия

Программа/тезисы: стр. 25, 92

Ле Мынг Куанг

Иркутский национальный исследовательский
технический университет (Иркутск), Россия
quangmungle2010@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 24, 51

Лемперт Анна Ананьевна

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

lempert@icc.ru

Программа/тезисы: стр. 24, 51

Лещинский Дмитрий Викторович

*Томский государственный университет
(Томск), Россия*

360flip182@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 52

Линкевич Николай Александрович

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

admin@dominator-net.ru

Программа/тезисы: стр. 12, 96

Литвинов Павел Сергеевич

*Сибирский федеральный университет
(Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 21, 63

Лиханова Юлия Викторовна

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*

yulia.likhanova@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 18

Лихачев Алексей Валерьевич

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 8, 16, 21, 33, 96, 53, 74

Лютов Алексей Евгеньевич

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*

lyutov.alexey@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 21, 52

Лях Татьяна Викторовна

*Институт автоматизации и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия*

antsys_nsu@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 12, 96

Макарова Анна Юрьевна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*

makarova96@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 21, 52

Малтугеева Галина Станиславовна

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*

gama@icc.ru

Программа/тезисы: стр. 97

Мальковский Сергей Иванович

*Вычислительный центр ДВО РАН
(Хабаровск), Россия*

sergey.malkovsky@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 16, 107

Мальцева Светлана Васильевна

*Институт математики СО РАН
(Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 17, 112

Мамышева Татьяна Николаевна

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*

mamysheva.t.n@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 8, 53

Мариненко Аркадий Вадимович

*Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
(Новосибирск), Россия*

arkadiy@reqip.net

Программа/тезисы: стр. 23, 53

Марков Павел Владимирович

*Тюменский государственный университет
(Тюмень), Россия*

markov.pv@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 24, 54

Марков Сергей Игоревич

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*

www.sim91@list.ru

Программа/тезисы: стр. 14, 55

Матвеев Алексей Сергеевич

*Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
(Новосибирск), Россия*

alexey.matveev.9@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 24, 55

Матушкин Юрий Георгиевич

*Институт цитологии и генетики СО РАН
(Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 25, 92

Матюшкин Игорь Валерьевич

*Институт проблем проектирования
в микроэлектронике РАН (Зеленоград), Россия*

Программа/тезисы: стр. 9, 41

Медведев Алексей Михайлович

*Институт ядерной физики СО РАН
(Новосибирск), Россия*

medvedalex.m@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 25, 98

Миков Леонид Сергеевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН,
кемеровский филиал (Кемерово), Россия*
mikov@ict.sbras.ru

Программа/тезисы: стр. 16, 98

Микушина Валентина Алексеевна

*Томский государственный университет
(Томск), Россия*
mikushina_93@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 22, 55

Митин Константин Александрович

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

Программа/тезисы: стр. 19, 56

Михайлов Сергей Олегович

*Кемеровский государственный университет
(Кемерово), Россия*
mihailov@kemsu.ru

Программа/тезисы: стр. 14, 56

Михайлова Екатерина Игоревна

*Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
(Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 8, 38

Молокова Наталья Викторовна

*Сибирский федеральный университет
(Красноярск), Россия*
nat_molokova@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 25, 81

Морозов Антон Евгеньевич

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*
tony-morozov@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 17, 98

Мустафин Захар Сергеевич

*Институт цитологии и генетики СО РАН
(Новосибирск), Россия*
mustafinzs@bionet.nsc.ru

Программа/тезисы: стр. 25, 92

Настовьяк Алла Георгиевна

*Институт физики полупроводников
им. А.В. Ржасанова СО РАН
(Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 10, 73

Неведрова Нина Николаевна

*Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
(Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 16, 104

Никитин Александр Алексеевич

*Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
(Новосибирск), Россия*

NikitinAA@ipgg.sbras.ru

Программа/тезисы: стр. 24, 57

Новиков Михаил Александрович

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
mishutikrus@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 23, 57

Новиков Никита Сергеевич

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия*
novikov-1989@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 13, 58

Ожгибесов Михаил Сергеевич

Econophysics (Новосибирск), Россия
mikhail.ozhgibesov@econophysics.com

Программа/тезисы: стр. 12, 99

Окишев Сергей Сергеевич

*Сибирский федеральный университет
(Красноярск), Россия*
devvil123@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 25, 81

Орлов Андрей Александрович

Econophysics (Новосибирск), Россия
Программа/тезисы: стр. 12, 99

Орлов Кирилл Юрьевич

*Новосибирский научно-исследовательский
институт патологии кровообращения
им. ак. Е.Н. Мешалкина (Новосибирск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 19, 75

Орлов Святослав Сергеевич

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*
orlov_svyatoslav@list.ru

Программа/тезисы: стр. 58

Остапенко Владимир Викторович

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 19, 23, 35

Ощепков Александр Юрьевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН,
кемеровский филиал (Кемерово), Россия*
aosivt@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 17, 99

Павлов Сергей Дмитриевич

*Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
(Санкт-Петербург), Россия*
Программа/тезисы: стр. 11, 94

Пазников Алексей Александрович

*Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики
(Новосибирск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 12, 79

Палагина Анна Анатольевна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
nuta.911@mail.ru
Программа/тезисы: стр. 14, 58

Палий Александр Викторович

*Южный федеральный университет
(Ростов-На-Дону), Россия*
a.v._paliy@mail.ru
Программа/тезисы: стр. 64

Пан Валентин Валерьевич

Ecoporphysica (Новосибирск), Россия
Программа/тезисы: стр. 12, 99

Панарин Вячеслав Александрович

*Новосибирский научно-исследовательский
институт патологии кровообращения
им. ак. Е.Н. Мешалкина (Новосибирск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 19, 75

Паровик Роман Иванович

*Институт космофизических исследований
и распространения радиоволн ДВО РАН
(Петропавловск-Камчатский), Россия*
romano84@mail.ru
Программа/тезисы: стр. 59

Парубенко Иван Владимирович

ООО НАЦ «Недра» (Томск), Россия
iparubenko@mail.ru
Программа/тезисы: стр. 22, 77

Паршин Даниил Васильевич

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 17, 112

Парыгин Александр Викторович

*Институт автоматики и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия*
nibir2@gmail.com
Программа/тезисы: стр. 25, 99

Патрушев Илья Игоревич

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*
LI-3208@mail.ru
Программа/тезисы: стр. 21, 59

Патрушев Иннокентий Романович

*Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
(Санкт-Петербург), Россия*
Программа/тезисы: стр. 11, 94

Пахоруков Александр Сергеевич

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*
v0097@yandex.ru
Программа/тезисы: стр. 12, 100

Пененко Алексей Владимирович

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 8, 13, 36

Пененко Владимир Викторович

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 8

Перевозкин Данил Валерьевич

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 15, 28

Перепелкин Владислав Александрович

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия*
perepelkin@ssd.ssc.ru
Программа/тезисы: стр. 12, 17, 25, 80, 100, 101

Перепечко Юрий Вадимович

*Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия*
Программа/тезисы: стр. 18, 71

Перетокин Сергей Анатольевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
es_gopr@mail.ru
Программа/тезисы: стр. 13

Пестунов Андрей Игоревич

*Новосибирский государственный университет
экономики и управления (Новосибирск), Россия*
pestunov@gmail.com
Программа/тезисы: стр. 13

Петренко Ирина Анатольевна

*Владимирский государственный университет
(Владимир), Россия*
Программа/тезисы: стр. 19, 35

Петров Дмитрий Игоревич

*Московский физико-технический институт
(Национальный исследовательский университет)
(Долгопрудный), Россия*

Программа/тезисы: стр. 22, 72

Петров Игорь Борисович

*Московский физико-технический институт
(Национальный исследовательский университет)
(Долгопрудный), Россия*

Программа/тезисы: стр. 22, 72

Погодаев Николай Ильич

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*

nickpogo@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 60

Полетаева Валерия Дмитриевна

*Севастопольский государственный университет
(Севастополь), Россия*

sandynightbreeze@rambler.ru

Программа/тезисы: стр. 101

Полетайкин Алексей Николаевич

*Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики
(Новосибирск), Россия*

alex.poletaykin@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 11, 102

Полищук Станислав Юрьевич

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*

exsidia@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 23, 60

Полухина Мария Евгеньевна

*Кемеровский государственный университет
(Кемерово), Россия*

p_masha92@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 20, 61

Полякова Анна Петровна

*Институт математики им. С.Л. Соболева
СО РАН (Новосибирск), Россия*

anna.polyakova@ngs.ru

Программа/тезисы: стр. 13, 61

Поплавская Татьяна Владимировна

*Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН
(Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 14, 63

Попов Василий Николаевич

*Северный (Арктический) федеральный
университет (Архангельск), Россия*

o.germider@narfu.ru

Программа/тезисы: стр. 14, 32

Попов Михаил

*Тюменский государственный университет
(Тюмень), Россия*

porov_m_n@list.ru

Программа/тезисы: стр. 102

Прокопьева Анастасия Валерьевна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*

prokoryeva96@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 12, 80

Прокофьева Алина Эдуардовна

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*

rae.1994@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 13, 62

Проничкин Сергей Васильевич

*Федеральный исследовательский центр
«Информатика и управление» РАН
(Москва), Россия*

pronichkin@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 16, 103

Рахманов Виталий Владиславович

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

Программа/тезисы: стр. 18, 46

Рахматова Анна Юрьевна

*Уральский федеральный университет
(Екатеринбург), Россия*

anua_rahmatova@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 23, 62

Редюк Алексей Александрович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*

alexey.redyuk@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 9, 69

Резник Александр Львович

*Институт автоматики и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 17, 106

Решетова Анна Игоревна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*

annareshetova29@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 14, 63

Розов Андрей Сергеевич

*Институт автоматики и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия*

deadproger@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 26, 103

Рохина Марина Геннадьевна

*Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
(Новосибирск), Россия*

RohinaMG@ipgg.sbras.ru

Программа/тезисы: стр. 16, 104

Рыбков Михаил Викторович

*Сибирский федеральный университет
(Красноярск), Россия*

mikhailrybkov@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 21, 63

Рыжков Илья Игоревич

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 14, 70

Рябко Борис Яковлевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*

boris@ryabko.net

Программа/тезисы: стр. 23

Савин Максим Андреевич

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*

maximise@bk.ru

Программа/тезисы: стр. 25, 104

Савкина Надежда Валерьевна

*Томский государственный университет
(Томск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 14, 69

Саенко Александр Викторович

*Южный федеральный университет
(Ростов-На-Дону), Россия*

alex_rus.07@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 64

Самошкин Антон Сергеевич

*Сибирский государственный университет путей
связи (Новосибирск), Россия*

assamoshkin.stu@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 22, 64

Самсонюк Ольга Николаевна

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 26, 84

Сахибназарова Виктория

*Самарский национальный исследовательский
университет им. ак. С.П. Королева
(Самара), Россия*

vik-tori-s@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 65

Светов Иван Евгеньевич

*Институт математики им. С.Л. Соболева
СО РАН (Новосибирск), Россия*

svetovie@math.nsc.ru

Программа/тезисы: стр. 13, 65

Семисалов Борис Владимирович

*Конструкторско-технологический институт
вычислительной техники СО РАН*

(Новосибирск), Россия

ViBiS@ngs.ru

Программа/тезисы: стр. 19-22, 27, 48, 50, 66

Семёнов Евгений Витальевич

*Томский государственный университет
(Томск), Россия*

semyonov@math.tsu.ru

Программа/тезисы: стр. 13, 66

Семёнова Анастасия Александровна

*Томский государственный университет
(Томск), Россия*

semyonova.a@math.tsu.ru

Программа/тезисы: стр. 18, 67

Сенотрусова Софья Дмитриевна

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*

senotrusova.s@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 21, 67

Сергеев Александр Петрович

*Институт промышленной экологии УрО РАН
(Екатеринбург), Россия*

Программа/тезисы: стр. 23, 62

Сердюков Александр Сергеевич

*Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
(Новосибирск), Россия*

aleksanderserdyukov@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 23, 24, 57, 68

Сеченов Павел Александрович

*Сибирский государственный индустриальный
университет (Новокузнецк), Россия*

pavesa89@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 68

Сидельников Олег Сергеевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*

o.s.sidelnikov@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 9, 69

Сидоренко Павел Витальевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН,
кемеровский филиал (Кемерово), Россия*

singston@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 16, 105

Сизов Михаил Михайлович

*Институт автоматики и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия*
sizov.m.m@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 11, 25, 98, 105

Скибина Надежда Петровна

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

Программа/тезисы: стр. 14, 69

Слепцова Наталья Сергеевна

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 8, 74

Смолехо Ирина Владимировна

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия*
ismol@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 24, 70

Снигур Виктор

*Сибирский федеральный университет
(Красноярск), Россия*
89233724938@ya.ru

Программа/тезисы: стр. 14, 70

Соболев Александр Николаевич

*ООО «Системы промышленной автоматизации»
(Красноярск), Россия*
AlexanderS@dmdevelopment.ru

Программа/тезисы: стр. 25, 106

Соловьев Александр Анатольевич

*Институт автоматики и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия*
solowey@rambler.ru

Программа/тезисы: стр. 17, 106

Сорокин Алексей Анатольевич

*Вычислительный центр ДВО РАН
(Хабаровск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 16, 107

Сорокин Константин Эдуардович

*Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия*
konst_sorokin_85@ngs.ru

Программа/тезисы: стр. 18, 71

Сорокин Степан Павлович

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*
sorsp@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 26, 107, 108

Сорокина Полина Геннадьевна

*Байкальский государственный университет
(Иркутск), Россия*
ermolaeva_polina@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 107

Софронов Иван Викторович

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
ivan.sof@bk.ru

Программа/тезисы: стр. 25, 101

Спивак Юлия Эдуардовна

*Дальневосточный федеральный университет
(Владивосток), Россия*
U3l3i3y3a3@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 71

Старицын Максим Владимирович

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*
starmaxmath@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 26, 108

Старолетов Сергей Михайлович

*Алтайский государственный технический
университет (Барнаул), Россия*
serg_soft@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 12, 95, 108

Старостенко Александр Анатольевич

*Институт ядерной физики СО РАН
(Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 25, 98

Старченко Александр Васильевич

*Томский государственный университет
(Томск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 15, 77

Степанов Дмитрий Юрьевич

*Томский политехнический университет
(Томск), Россия*
sdu@am.tpu.ru

Программа/тезисы: стр. 22, 77

Стогний Полина Владимировна

*Московский физико-технический институт
(Национальный исследовательский университет)
(Долгопрудный), Россия*
stognii@phystech.edu

Программа/тезисы: стр. 22, 72

Стребкова Екатерина Александровна

*Томский государственный университет
(Томск), Россия*
KateKS93@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 22, 72

Тарасов Дмитрий Александрович

*Институт промышленной экологии УрО РАН
(Екатеринбург), Россия*

Программа/тезисы: стр. 23, 62

Тихомиров Артём Игоревич

*Межведомственный суперкомпьютерный центр
РАН (Москва), Россия*
ТЕМА4277@rambler.ru

Программа/тезисы: стр. 17, 109

Ткачёва Анастасия Александровна

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия*

tkacheva@ssd.sccc.ru

Программа/тезисы: стр. 25, 101

Торгов Андрей Владиславович

*Институт автоматуки и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 17, 106

Трачева Наталья Валерьевна

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия*

tnv@osmf.sccc.ru

Программа/тезисы: стр. 9, 72

Трофимова Светлана Алексеевна

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*

svetik-missy@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 73

Угриновский Назарий Васильевич

*Тюменский государственный университет
(Тюмень), Россия*

nazar9505@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 109

Ульянов Михаил Васильевич

*Институт проблем управления РАН
(Москва), Россия*

muljanov@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 13

Урманов Игорь Павлович

*Вычислительный центр ДВО РАН
(Хабаровск), Россия*

uip1@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 16, 107

Усенков Станислав Валерьевич

*Институт физики полупроводников
им. А.В. Ржаснова СО РАН
(Новосибирск), Россия*

simsonic@ya.ru

Программа/тезисы: стр. 10, 73

Усов Эдуард Викторович

*Институт проблем безопасного развития
атомной энергетики РАН, Новосибирский филиал
(Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 18, 77

Усталов Дмитрий Алексеевич

*Институт математики и механики УрО РАН
(Екатеринбург), Россия*

dau@imm.uran.ru

Программа/тезисы: стр. 11, 110

Ухинов Сергей Анатольевич

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 9, 72

Фарапонов Валерий Владимирович

*Томский государственный университет
(Томск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 14, 69

Фереферов Кирилл Александрович

*Дальневосточный федеральный университет
(Владивосток), Россия*

Программа/тезисы: стр. 16, 87

Филимонов Сергей Анатольевич

ООО «ТОРИНС» (Красноярск), Россия

bdk@inbox.ru

Программа/тезисы: стр. 9, 19, 42, 74

Финкельштейн Евгения Александровна

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 26, 110

Фирчук Жанна Валентиновна

*Сибирский федеральный университет
(Красноярск), Россия*

Dragoncharlie@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 25, 81

Фёдоров Роман Константинович

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 11, 79

Хаимчикова Жаргалма Баировна

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*

zhaga-94@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 8, 74

Хайдаров Шамиль Махмутович

*Казанский (приволжский) федеральный
университет (Казань), Россия*

15jkeee@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 110

Харлампенков Иван Евгеньевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН,
кемеровский филиал (Кемерово), Россия*

Программа/тезисы: стр. 16, 105

Хаятова Валентина Дмитриевна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*

valentinakha@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 111

Хе Александр Канчерович

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

Программа/тезисы: стр. 17, 19, 75, 112

Хромова Надежда Александровна

Тюменский филиал Института теоретической
и прикладной механики им. С.А. Христиановича
СО РАН (Тюмень), Россия

khromova.n.a@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 19, 74

Худобердин Иван Рафаилович

Специальное конструкторско-технологическое
бюро «Наука» Красноярского научного центра
СО РАН,

Сибирский федеральный университет
(Красноярск), Россия

Программа/тезисы: стр. 90

Цыганова Мария Сергеевна

Тюменский государственный университет
(Тюмень), Россия

Программа/тезисы: стр. 22, 45, 102

Цыденов Баир Олегович

Томский государственный университет
(Томск), Россия

tsydenov@math.tsu.ru

Программа/тезисы: стр. 15, 75

Цымбал Валентин Павлович

Сибирский государственный индустриальный
университет (Новокузнецк), Россия

Программа/тезисы: стр. 68

Черевко Александр Александрович

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

Программа/тезисы: стр. 17, 19, 35, 75, 112

Черемных Елена Николаевна

Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия

elena_cher@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 19, 76

Черепанова Оксана Сергеевна

Уральский федеральный университет
(Екатеринбург), Россия

Программа/тезисы: стр. 23, 62

Черноскутов Михаил Александрович

Уральский федеральный университет
(Екатеринбург), Россия

chernoskutovma@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 25, 111

Черный Сергей Григорьевич

Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия

Программа/тезисы: стр. 21, 52

Чеховской Игорь Сергеевич

Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия

i.s.chekhovskoy@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 9, 76

Чехоцкая Евгения Васильевна

ООО «Диагностика+» (Томск), Россия
jane04@ya.ru

Программа/тезисы: стр. 47

Чирков Денис Викторович

Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия

Программа/тезисы: стр. 21, 52

Чупахин Александр Павлович

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

Программа/тезисы: стр. 17, 19, 35, 75, 112

Чуруксаева Владислава Васильевна

Томский государственный университет
(Томск), Россия

Chu.VV@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 15, 77

Чухно Владимир Игоревич

Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия

cool.proff@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 18, 77

Шадрин Михаил Юрьевич

Институт автоматики и электрометрии
СО РАН (Новосибирск), Россия

Программа/тезисы: стр. 25, 85

Шайдуров Владимир Викторович

Институт вычислительного моделирования
СО РАН (Красноярск), Россия

shidurov@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 8

Шалагинов Александр Евгеньевич

Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

(Новосибирск), Россия

Программа/тезисы: стр. 16, 104

Шашков Владимир Леонидович

Специальное конструкторско-технологическое
бюро «Наука» Красноярского научного центра

СО РАН (Красноярск), Россия

Программа/тезисы: стр. 25, 106

Шварц Наталия Львовна

Институт физики полупроводников
им. А.В. Ржанова СО РАН

(Новосибирск), Россия

Программа/тезисы: стр. 10, 73

Шестаков Валерий Владимирович

Томский политехнический университет
(Томск), Россия

valeriy.shestakov@inbox.ru

Программа/тезисы: стр. 22, 77

Штабель Евгений Павлович

*Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
(Новосибирск), Россия*
stabel@ngs.ru

Программа/тезисы: стр. 23, 29

Щербаков Павел Константинович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
ldoffys@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 20, 78

Щукин Георгий Анатольевич

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН
(Новосибирск), Россия*
schukin@ssd.sgcc.ru

Программа/тезисы: стр. 17, 112

Эпов Михаил Иванович

*Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
(Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 23, 53

Юрин Александр Юрьевич

*Институт динамики систем и теории
управления СО РАН (Иркутск), Россия*
iskander@icc.ru

Программа/тезисы: стр. 23, 88

Янькова Галина Сергеевна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
Galinka0395@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 17, 112

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

Есипов Д.В., Лиханова Ю.В.

Компьютерная верстка в системе \LaTeX

Лиханова Ю.В., Синявский Ю.Н.,
Гусев О.И., Лютов А.Е, Сидельников О.С.,
Чеховской И.С., Григорьев А.Е., Щербаков П.К.

Подписано к печати 24.10.2016.

Формат 60x84 1/8. Тираж 150 экз. Заказ №416

Отпечатано в ООО «Дигит Про».

630005, г. Новосибирск, ул. Журина, д. 78, пом. 208