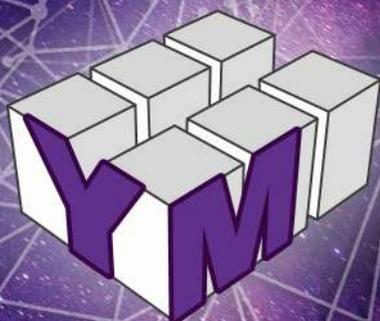


Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт вычислительных технологий
Сибирского отделения Российской академии наук



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

**Новосибирск
28 октября – 1 ноября 2019 г.**

**Тезисы докладов
Алфавитный указатель
участников**

Институт вычислительных технологий СО РАН

XX Всероссийская конференция
молодых учёных
по математическому моделированию
и информационным технологиям

Тезисы докладов

Алфавитный указатель участников

Новосибирск

28 октября – 1 ноября 2019 г.

УДК 004, 519.6
ББК 22.19, 32.81
Т29

Тезисы XX Всероссийской конференции молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям. г. Новосибирск, Россия, 28 октября – 1 ноября 2019 г. — Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2019. — 102 стр.

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

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

Организаторы конференции:

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

Сайт конференции: <http://conf.nsc.ru/ym2019>

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

Программный комитет:

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

Организационный комитет:

- академик Ю. И. Шокин (Новосибирск) — председатель
- к.ф.-м.н. Д. В. Есипов (Новосибирск) — заместитель председателя
- к.т.н. С. А. Рылов (Новосибирск) — секретарь
- к.ф.-м.н. А. В. Вяткин (Красноярск)
- к.ф.-м.н. О. И. Гусев (Новосибирск)
- к.т.н. Е. С. Ферреферов (Иркутск)
- к.ф.-м.н. И. С. Чеховской (Новосибирск)
- н.с. Ю. Н. Синявский (Новосибирск)
- м.н.с. П. В. Мельников (Новосибирск)
- асп. Ю. С. Борзилова (Новосибирск)
- асп. А. А. Палагина (Новосибирск)
- асп. С. Д. Сенотрусова (Новосибирск)
- асп. А. К. Филатова (Новосибирск)
- асп. П. К. Щербаков (Новосибирск)

Научные направления

1. Математическое моделирование

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

2. Численные методы и методы оптимизации

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

3. Высокопроизводительные и распределённые вычисления

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

4. Информационные и геоинформационные системы

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

5. Цифровая экономика

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

6. Управление, обработка, защита и хранение информации

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

7. Автоматизация и теория управления

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

Содержание

Тезисы докладов	6
1. Вычислительные технологии	6
2. Информационные технологии	53
Алфавитный указатель участников	90

1. Вычислительные технологии

1.1. *Александр А.С.* Вычисление сингулярных интегралов в методе граничных элементов для задачи Гельмгольца

Для решения практических задач, связанных с распространением волновых процессов в пространстве, необходимо численное моделирование. Рассмотрим волновые процессы, которые можно описать с помощью уравнения Гельмгольца:

$$\nabla^2 u(\mathbf{x}) + k^2 u(\mathbf{x}) = 0, \mathbf{x} \in R^3.$$

В данной работе рассматривается решение уравнения методом граничных элементов. Граница области в этом методе представляется в виде набора элементов, на которых для аппроксимации решения применяются базисные функции. Математическая постановка данного метода для задачи Гельмгольца приводится в [1]. С помощью метода граничных элементов можно решать задачу в том числе и на неограниченных областях, что является проблемой для других методов.

При решении уравнения Гельмгольца методом граничных элементов возникает проблема при вычислении интегралов, поскольку некоторые интегралы становятся сингулярными или близкими к сингулярным при их вычислении на одном и том же элементе или на элементах, близких друг к другу. Эти интегралы имеют следующий вид:

$$\int_{G_x} \left(\frac{\varphi(\mathbf{x}) e^{-ik\|\mathbf{x}-\mathbf{y}\|}}{4\pi\|\mathbf{x}-\mathbf{y}\|} \right) d\mathbf{x},$$
$$\int_{G_x} \left(\psi(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial \mathbf{n}_x} \frac{e^{-ik\|\mathbf{x}-\mathbf{y}\|}}{4\pi\|\mathbf{x}-\mathbf{y}\|} \right) d\mathbf{x}.$$

Предложен метод, который позволяет вычислять такие интегралы с высокой точностью и при этом незначительно увеличивает время их вычисления. Суть метода заключается в том, что из сингулярного интеграла выделяется два более простых, за счет разложения в ряд Тейлора частей подынтегральной функции. Один из интегралов является сингулярным и его значение можно вычислить аналитически, способ его вычисления описан в [2]. Другой интеграл не является сингулярным и может быть посчитан численным методом.

В рамках исследования проводилось сравнение решения тестовых задач, описываемых уравнением Гельмгольца в действительном пространстве, полученное методом граничных элементов, с решением, полученным методом конечных элементов с различными базисными функциями. Сравнивались такие параметры, как:

1. Точность полученного решения.
2. Затрачиваемое время на получение решения.

3. Количество требуемой памяти для вычислений.

В работе представлено сравнение эффективности решения уравнения Гельмгольца методом граничных элементов с методом конечных элементов, при вычислении необходимых интегралов предложенным методом.

Список литературы

- [1] KIRKUP S.N. The boundary element method in acoustics / Integrated sound software, 2007. 147 p.
- [2] СТУПАКОВ И. М. Разработка алгоритмов решения задач магнитостатики с использованием метода граничных элементов: дис. ... канд. техн. наук. Новосиб. гос. техн. ун-т., Новосибирск, 2016. 106 с.

1.2. *Амелина Е.В., Беляев В.А., Брындин Л.С., Горынин А.Г.* Решение обратной задачи определения закона деформирования льда

Для развития России очень важным является промышленное и социальное освоение арктического региона, в первую очередь из-за огромных запасов полезных ископаемых, а также в связи с необходимостью укрепления обороноспособности северного направления и создания комфортных условий проживания населения. Лед — неограниченный ресурс севера нашей страны, поэтому логичным представляется исследование и создание ледяных композиционных материалов и конструкций.

В настоящей работе на основании экспериментальных данных, полученных в испытательном центре ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ [1], осуществлялся поиск закона деформирования льда/армированного льда. В силу «капризности» материала затруднено проведение экспериментов на растяжение-сжатие, поэтому для определения связи между напряжениями и деформациями предложен алгоритм решения обратной задачи. Для этой цели реализована математическая модель расчета трехточечного изгиба ледяных образцов, учитывающая нелинейный характер зависимости между напряжениями и деформациями [2] с применением метода коллокации и наименьших квадратов для решения задачи Дирихле для уравнения Пуассона [3, 4].

Из решения обратной задачи установлена зависимость $\sigma = A\epsilon + B\epsilon^3$, где значения коэффициентов A и B варьировались в некоторых пределах для соответствующих образцов. Показано, что кривые деформирования ледяных образцов из дистиллированной воды (до разрушения) и ледяных композиционных материалов (до появления вертикальных поперечных трещин), армированных волокнами РУСАР-С, практически совпадают. Таким образом, начальный этап деформирования для армированного льда практически полностью определяется свойством связующего, а при дальнейшем росте нагрузки арматура обеспечивает несущую способность материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 18-13-00392).

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

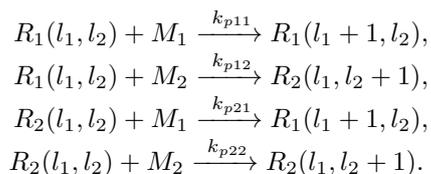
Список литературы

- [1] Бузник В. М., Ландик Д. Н., Ерасов В. С. и др. Физико-механические свойства композиционных материалов на основе ледяной матрицы // Материаловедение. 2017. № 2. С. 33–40.
- [2] Амелина Е. В., Голушко С. К., Ерасов В. С. и др. О нелинейном деформировании углепластиков: эксперимент, модель, расчет // Вычислительные технологии. 2015. Т. 20. № 5. С. 27–52.
- [3] Голушко С. К., Идимешев С. В., Семисалов Б. В. Методы решения краевых задач механики композитных пластин и оболочек. Учеб. пособие по курсу «Прямые и обратные задачи механики композитов» / Новосибирск: КТИ ВТ СО РАН, 2014. 131 с.
- [4] Беляев В. А., Шапеев В. П. Решение задачи Дирихле для уравнения Пуассона методом коллокации и наименьших квадратов в области с дискретно заданной границей // Вычислительные технологии. 2018. Т. 23. № 3. С. 15–30.

1.3. Антонова И.О., Дмитричева Р.Р., Бронская В.В., Мануйко Г.В., Аминова Г.А. Периодический процесс сополимеризации изобутилена и изопрена

Постоянное увеличение мировых объемов изготовления автомобильных шин и резиновых изделий легкой промышленности обуславливает высокий спрос на бутилкаучук (продукт сополимеризации изобутилена и изопрена). В связи с этим продолжает возникать необходимость детального исследования процесса производства и совершенствования методов получения бутилкаучука.

На основе анализа публикаций [1], [2] была предложена упрощенная кинетическая схема сополимеризации изобутилена с изопреном, включающая соответствующие уравнения изменения концентраций компонентов реакционной системы с последующим определением значения параметров для констант скоростей роста всех элементарных реакций (стаций):



Здесь M_1 и M_2 – концентрации сомономеров, k_{pii} – константы роста соответствующих реакций ($i = 1, 2$), $R_i(l)$ – растущая полимерная цепь с концевым звеном i -го типа ($i = 1, 2$), l – количество мономерных звеньев в цепи, $R_1 = \sum_{l_1} \sum_{l_2} R_i(l_1, l_2)$ – полная концентрация активного центра i -го типа.

В соответствии с предложенной кинетической схемой, выведены уравнения расхода мономеров:

$$\frac{dM}{dt} = k_{p11}M_1I_1 + k_{p21}M_1I_2 + k_{p12}M_2I_1 + k_{p22}M_2I_2, \quad (1)$$

где $M = M_1 + M_2$.

Согласно принципу квазистационарности и постоянству суммарной концентрации активных центров, равной исходной концентрации инициатора, получили соотношение для расчета I_1 и I_2 в любой момент времени:

$$I_1 = I_0 \frac{r_1 f_1}{r_1 f_1 + ar_2 f_2}, \quad I_2 = I_0 \frac{ar_2 f_2}{r_1 f_1 + ar_2 f_2}, \quad (2)$$

где $f_1 = \frac{M_1}{M}$, $f_2 = \frac{M_2}{M}$ – мольные доли сомономеров, $r_1 = \frac{k_{p11}}{k_{p12}}$, $r_2 = \frac{k_{p22}}{k_{p21}}$ – константы сополимеризации, $a = \frac{k_{p11}}{k_{p22}}$ – отношение констант скоростей роста при раздельной полимеризации мономеров M_1 и M_2 .

Из уравнений расхода мономера (1) получили выражения для зависимости конверсии изобутилена и изопрена соответственно:

$$x_1 = 1 - e^{(k_{p11}I_1 + k_{p21}I_2)t}, \quad x_2 = 1 - e^{(k_{p12}I_1 + k_{p22}I_2)t}. \quad (3)$$

Используя соотношения (2), (3) получили соотношение относительно общей конверсии $x = \frac{M_0 - M}{M_0}$:

$$x = \frac{M_{10}}{M_0}x_1 + \frac{M_{20}}{M_0}x_2.$$

В соответствии с математической моделью, разработанной для описания изучаемого процесса, значения констант роста цепи k_{pii} , ($i = 1, 2$) и эффективная константа роста цепи k_p были определены в программном комплексе Wolfram Mathematica.

Данные для определения констант роста для определения x_1 и x_2 мы брали из следующих источников [1]. Рассчитанная погрешность полученного результата хорошо согласуется с имеющимися экспериментальными данными.

Список литературы

- [1] Сангалов Ю. А., Минскер К. С. Полимеры и сополимеры изобутилена: Фундаментальные проблемы и прикладные аспекты / Уфа: Гилем, 2001. 384 с.
- [2] Аминова Г. А., Антонова И. О., Бронская В. В. и др. Математическое моделирование процесса синтеза бутилкаучука // Вестник технологического университета. 2012, Т. 15, № 4, С. 103–107.
- [3] Дмитричева Р. Р., Антонова И. О., Бронская В. В. и др. Построение математической модели процесса сополимеризации изобутилена и изопрена // Тр. XXXI Междунар. научн. Конф.

«Математические методы в технике и технологиях». Санкт-Петербург: Политехнический Университет, 2018. Т. 4, С. 32–34.

1.4. Батова А.С., Бугай А.Н., Душанов Э.Б., Аксенова С.В. Математическое моделирование влияния радиационно-индуцированных эффектов на формирование осцилляций в нейросети СА3 гиппокампа

В настоящее время центральная нервная система рассматривается как критическая система при осуществлении дальних космических полетов и при терапии опухолей головного мозга. Потенциальные риски связаны с развитием радиационно-индуцированных повреждений в мозге. Диапазон наблюдаемых эффектов очень широк: от внутриклеточных и структурных изменений нейронов до развития когнитивных и поведенческих патологий.

Такие когнитивные функции мозга, как фокусирование внимания, память, пространственная ориентация и исполнительные функции, часто рассматриваются в контексте возникновения в мозге определенных ритмов (или волн), характерных для каждой из этих функций. Гиппокамп — часть мозга, отвечающая за кратковременную и пространственную память, а также участвующая в консолидации памяти. В значительной степени гиппокамп способствует генерации тета- и гамма-ритмов. Выявлено, что при развитии различных нейродегенеративных заболеваний, а также после воздействия ионизирующего излучения, ряд нарушений в работе гиппокампа связан с изменениями в синаптической передаче.

В настоящей работе исследуется связь генетических мутаций в генах, кодирующих белки синаптического NMDA-рецептора, с функционированием нейронных сетей области СА3 гиппокампа. В ходе работы было произведено молекулярно-динамическое моделирование открытия ионного канала NMDA-рецепторов, построенных из мутантных форм белков. Анализ возникших конфигураций позволил определить изменение проводимостей ионных каналов и их влияние на параметры нейронной сети и генерацию ей тета- и гамма-ритмов. В частности, было выявлено, что с ростом сложности мутации значительно нарушаются пропускные свойства синаптических ионных каналов, что в конечном итоге влечет за собой изменения в амплитуде макроколебаний популяции и генерируемых частотах.

1.5. Баюк А.А. Разработка программного модуля для исследования модели производства биогаза из растительного сырья

Поиск альтернативных возобновляемых источников энергии — одно из приоритетных направлений развития современной науки. Одним из таких ис-

точников является биогаз — смесь газов с преобладающим содержанием метана.

Анаэробная ферментация органического сырья с целью производства биогаза представляет собой достаточно сложный и многоступенчатый процесс, состоящий как из последовательных химических реакций, так и из параллельных путей трансформации различных химических соединений с образованием одного и того же конечного продукта [1]– [3].

Комплексное исследование процесса производства биогаза из растительного сырья может потребовать значительных временных и финансовых затрат. Альтернативным подходом к исследованию проблемы может служить технология имитационного компьютерного моделирования.

В работе рассматривается программное исследование однокомпонентной модели, описывающей процесс получения биогаза в специальной установке непрерывно-проточного типа — биореакторе. Модель представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка, описывающую только три основополагающих процесса: гидролиз (первичное разложение) исходного субстрата (реакция, в первом приближении, протекающая без привлечения внешних катализаторов или ферментов); метаногенез — образование биогаза из продуктов первичного разложения органического сырья под действием специфических анаэробных микроорганизмов (таким образом, в описании обобщенного процесса метаногенеза неявно включаются стадии ацито- и ацетогенеза); динамика роста и разложения микробной биомассы, необходимой для протекания процессов анаэробного брожения. В качестве управляющих параметров модели взяты: количество начального субстрата и его скорость протока через биореактор [1, 2].

Цель исследования — поиск оптимальных параметров, максимизирующих скорость выхода биогаза.

Разработка программного обеспечения происходила в среде программирования Python [3]. Данная среда позволила сделать оконное приложение, где можно ввести данные в пустые поля, считать эту информацию, найти стационарные решения системы по заданному алгоритму внутри программы и произвести визуализацию исследования в виде графиков фазовых кривых.

Научный руководитель — к.т.н. Хворова Л. А.

Список литературы

- [1] Топаж А. Г., Вигонт В. А., Хворова Л. А. Имитационная модель процесса производства биогаза из многокомпонентного растительного сырья. Анализ и параметрическая оптимизация // Химия растительного сырья. 2018. № 1. С. 171–184.
- [2] Топаж А. Г., Хворова Л. А., Жариков А. В., Баюк А. А. Исследование математической модели производства биогаза из растительного сырья // Известия АлтГУ. 2018. № 1 (99). С. 127–131.

[3] Доля П. Г. Введение в научный Python / Харьковский национальный университет. Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 2016. 265 с.

1.6. Баядилов Т. В. Математическое моделирование асептического воспаления

Воспаление представляет собой естественный защитный ответ иммунной системы организма, направленный на очистку зоны повреждения от умерших и поврежденных клеток [1]. Один из наиболее доступных для лабораторного и клинического исследования вариантов воспаления — воспалительный процесс в зоне травматического некроза при заживлении асептической раны — представляет собой чрезвычайно сложный процесс с хорошо организованным взаимодействием между различными типами тканей и клеток. Изучение этих взаимодействий имеет важное значение для понимания механизмов воспалительной реакции, характерной для многих заболеваний.

В рамках данной работы на основании больших серий численных экспериментов и биологических соображений, описанных в [2], предложена новая математическая модель, описывающая динамику плотностей клеток иммунной системы и медиаторов воспаления в центральной зоне асептической (хирургической) раны. Модель представляет собой жесткую нелинейную систему шестнадцати уравнений, включающую в себя ОДУ и уравнение с запаздывающим аргументом. Адекватность модели подтверждают количественные сопоставления с широким кругом экспериментальных данных. Проведена серия методических расчетов и анализ чувствительности модели.

С применением разработанной модели выполнен численный анализ воспалительного процесса, который реализуется в рамках патологического сценария неэффективного очищения зоны повреждения во время острой фазы воспаления. Показано, что принятая модель описывает не только острое асептическое воспаление, но и переход процесса в хроническую форму. В рамках принятой модели выполнено численное моделирование неблагоприятных сценариев протекания воспалительной реакции [3], в том числе тромбоцитопения и лейкопения.

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

Список литературы

- [1] Ярилин А. А. Основы иммунологии: Учебник / Москва: Медицина, 1999. 608 с.
- [2] NAGARAJA S., WALLQVIST A., REIFMAN J. ET AL. Computational Approach To Characterize Causative Factors and Molecular Indicators of Chronic Wound Inflammation // The Journal of Immunology. 2014. Vol. 192. N. 4. P. 1824–1834.
- [3] WILGUS T. A., ROY S., MCDANIEL J. C. Neutrophils and wound repair: positive actions and negative reactions // Advances in wound care. 2013. N. 2 (7). P. 379–388.

1.7. Беляев В. А., Брындин Л. С. О численном решении эллиптического уравнения с особенностями методом коллокации и наименьших квадратов

Проблемой создания методов повышенного порядка точности численного решения эллиптических уравнений занимались вычислители, начиная с тридцатых годов прошлого столетия. Однако в случае наличия особенностей в краевой задаче для эллиптического уравнения многие численные методы сталкиваются с существенными трудностями. Зачастую не удается построить сходящееся приближенное решение, достичь повышенную точность решения и высокий порядок аппроксимации. При этом, естественно, степень трудностей в значительной мере зависит от типа особенности.

В настоящей работе рассматриваются примеры численного решения уравнения Пуассона с особенностями методом коллокации и наименьших квадратов (КНК). Это уравнение как достаточно простое, часто встречающееся на практике и для изучения свойств различных численных методов (см. [1] и цитируемую там литературу), взято в данной работе с целью исследования возможностей различных вариантов метода КНК в более сложных случаях. Здесь рассматриваются примеры решения задач с особенностями в виде больших градиентов, высокой скорости роста производных решения, разрыва вторых производных на границе в угловых точках [2], осциллирующего решения с различными частотами при наличии точки разрыва типа «полос» для производных любого порядка [3].

Для решения этих задач предложены новые h -, p - и hp -варианты метода КНК, основанные на специальном выборе точек коллокации в корнях полиномов Чебышева и базисных функций в виде произведения полиномов Чебышева.

Проанализировано поведение погрешности численного решения на последовательности сеток и при увеличении степени аппроксимирующего полинома с использованием тестовых задач с точными аналитическими решениями.

Приведено сравнение полученных результатов с результатами других авторов, применявших конечно-разностный метод [2] и mimetic discretization methods [3].

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы (проект АААА-А19-119051590004-5).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шапеев В. П.

Список литературы

- [1] Беляев В. А., Шапеев В. П. Решение задачи Дирихле для уравнения Пуассона методом коллокации и наименьших квадратов в области с дискретно заданной границей // Вычислительные технологии. 2018. Т. 23. № 3. С. 15–30.

- [2] ШАПЕЕВ В. П., ШАПЕЕВ А. В. Решение эллиптических задач с особенностями по схемам высокого порядка аппроксимации // Вычислительные технологии. 2006. Т. 11. Часть 2, Специальный выпуск. С. 84–91.
- [3] ABOUALI M., CASTILLO J. E. Solving Poisson equation with Robin boundary condition on a curvilinear mesh using high order mimetic discretization methods // Mathematics and Computers in Simulation. 2017. Vol. 139. P. 23–36.

1.8. Букаев М.С. Имитационные модели биолого-социальной эволюции популяции человека

Вопросы эволюции популяции на протяжении последних столетий являются объектом исследования многих учёных. Эволюция — это длительный процесс, поэтому проверка существующих гипотез об этом процессе в реальных условиях невозможна. Для исследования самым полезным и эффективным инструментом являются имитационные модели.

При построении имитационных моделей биолого-социальной эволюции были реализованы 4 подхода.

1. «Оптимистичная» модель (подход Топажа А.Г., д.т.н., ведущего научного сотрудника ООО «Гиперборей», г. Санкт-Петербург) Основная идея подхода: В процессе эволюции происходит улучшение популяции человека, а именно с увеличением количества наследников у родителей с наиболее благоприятными признаками, увеличивается среднее качество популяции.

2. «Пессимистичная» модель (подход А.В. Маркова, д.б.н., профессора МГУ) Основная идея подхода: Каждое поколение становится хуже предыдущего. Наблюдается генетическое вырождение и деградация популяции. Увеличивается количества наследников у родителей с неблагоприятными признаками.

3. «Реалистичная» модель (подход Оскорбина Н.М., д.т.н., профессора АлтГУ) Основная идея подхода: рассмотреть жизненный успех не в относительном количестве потомков, а в некоем уровне жизненной энергии. Автор подхода характеризует эволюцию реализацией поговорок: «Яблоко от яблони не далеко падает» и «От мандаринки не рождаются апельсинки».

4. «Теория поколений» (подход Хворовой Л.А., к.т.н., доцента АлтГУ, Букаева М.С.) В основе данного подхода лежат принципы развития и сменяемости поколений. Начальное распределение социальных слоёв для модели, является результатом изучения и анализа литературы по истории развития общества и эволюции популяций [1, 2]. В результате моделирования и реализации четвертого подхода были получены следующие данные.

В результате моделирования на период 2004–2020 гг. были проведены следующие эксперименты:

1. с низким социальным статусом — 25%; со сред-

ним социальным статусом — 42%; с высоким социальным статусом — 32%;

2. с низким социальным статусом — 25%; со средним социальным статусом — 40%; с высоким социальным статусом — 35%.

При тестировании имитационной модели и идентификации ее параметров рассматривались различные процентные соотношения представителей классов. Как следует из результатов моделирования, имитационная модель вполне адекватно характеризует динамику развития популяции и может быть использована в задачах прогнозирования [3].

Научный руководитель — к.т.н. Хворова Л. А.

Список литературы

- [1] ЛЕВАШОВ В. К. Устойчивое развитие общества: парадигма, модели, стратегия / Москва: Academia, 2001. 90 с.
- [2] МАРКОВ А. В. Эволюция человека: Обезьяны, кости и гены / Москва: Астрель, CORPUS, 2011. 42 с.
- [3] БУКАЕВ М. С., НЕУПОКОЕВА К. Г., ХВОРОВА Л. А. Прогнозирование пассионарности и социального статуса // Тр. XX городской научно-практической конференции молодых ученых «Молодежь — Барнаул». Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2018. С. 64–67

1.9. Ванькова О.С. Математическое моделирование нестационарных входных условий в канале камеры сгорания при сверхзвуковой скорости течения

Математическое моделирование сверхзвуковых течений в каналах камер сгорания позволяет получить детальную информацию о структуре потока, выявить особенности рассматриваемого типа течения, а также оценить влияние основных параметров на процессы смешения и воспламенения. Сверхзвуковые турбулентные течения в каналах характеризуются сложной структурой и наличием областей отрыва и присоединения пограничного слоя.

В настоящей работе представлены результаты трехмерного численного моделирования сверхзвукового течения в канале камеры сгорания с учетом нестационарных входных параметров (температура и давление), являющимися типичными для условий импульсной гиперзвуковой аэродинамической трубы ИТ-302М [1] (ИТПМ СО РАН). Основной целью данных исследований являлась оценка влияния нестационарных условий на структуру и параметры течения в рассматриваемом канале.

Численное моделирование было проведено с помощью коммерческого пакета ANSYS CFD Fluent на основе решения полных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье—Стокса, дополненных $k - \omega$ SST моделью турбулентности. Расчет проводился в 3D постановке с учетом симметрии канала. Для задания падающих начальных условий была написана пользовательская функция (UDF), которая моделировала поведение экспериментальных распределений давления и температуры на входе

в камеру сгорания, и добавлена в математическую схему расчета.

В результате расчетов было получено, что среднее число Маха в ядре потока на входе в камеру сгорания составляет $M = 3.84 \pm 0.05$. На стенках канала развивается пограничный слой, толщина которого в сечении перед уступом достигает $10 \sim 11$ мм. В канале формируется сложная волновая картина течения с наличием локальных зон отрыва и присоединения потока. Изменения структуры скачков со временем имеют незначительный характер, изменяющиеся параметры внутри канала влияют на процессы самовоспламенения и горения.

Список литературы

- [1] Пузырёв Л. Н., Ярославцев М. И. Стабилизация параметров газа в форкамере гиперзвуковой импульсной аэродинамической трубы // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. 1990. Вып. 5. С. 135–140.

1.10. Васильчук А.Н. Численное моделирование и исследование посадки беспилотного аппарата по модели движения пчелы

В данной работе с помощью математического моделирования решается задача о выявлении предельных значений параметров дискретизации, при которых посадка будет от очень мягкой, но длительной, до очень быстрой, но жесткой (вплоть до крушения). В ходе исследования была разработана дискретизированная модель посадки беспилотного летательного аппарата на основе постоянно поддерживаемого оптического потока (модель движения пчелы); исследованы влияние шага дискретизации по времени модели на характеристики посадки (длительность, скорость приземления), а также влияние поддерживаемого оптического потока посадки (2D-моделирование) и выполнено 3D-моделирование процесса посадки.

Ряд влияющих на алгоритм неизвестных параметров: начальная скорость, начальный угол обзора объекта, оптический поток, который надо поддерживать, шаг по времени, некоторая константа (или функция) для снижения скорости. За оптический поток принимаем ту же величину, которую ввел профессор Сринивасан, а именно — изменение угла обзора целевого объекта, нормированное на синус этого угла.

В ходе исследования было реализовано численное моделирование и исследование посадки беспилотного аппарата по модели движения пчелы.

Благодаря программному обеспечению Microsoft Visual Studio 2015 и Unity 3D, разработана 2D- и 3D-модель, инициирующая посадку беспилотного летательного аппарата с течением времени.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что полученная модель имеет допущения: беспилотный летательный аппарат садится на диск по заранее известным точкам и скоростям, которые были посчитаны ранее при 2D-моделировании.

Главное допущение — считаем, что беспилотный летательный аппарат уже центрирован относительно целевого объекта посадки, поэтому задача определения относительного положения и ориентации беспилотного летательного аппарата не рассматривалась, исследуем сближение по оптической оси между центрами масс.

Результатом работы является выявление предельных значений параметров дискретизации математической модели, а также прорывной принцип посадки пчел, установленный Сринивасаном, работает и его можно использовать при конструировании технических устройств.

1.11. Володин И. Моделирование квазистационарного рельефа в двухслойной системе под действием вибраций методом решетчатых уравнений Больцмана

В настоящее время метод решетчатых уравнений Больцмана (lattice Boltzmann method, LBM) активно развивается и привлекает большое внимание исследователей благодаря универсальности подхода, простоты программирования и легкости создания распараллеленного кода.

Несмотря на популярность метода, до текущего момента автору данной статьи неизвестны работы об использовании данного метода для изучения влияния вибраций на динамику поверхности раздела.

В данной работе рассматривалась задача о стабилизации рельефа на поверхности раздела двух жидкостей в поле обратно-поступательных линейных вибраций. На всю систему в целом действует сила тяжести. Предполагается, что вязкости обеих сред одинаковы.

В системе отсчёта, связанной с сосудом, вибрационное и гравитационное ускорения можно записать через эффективное ускорение свободного падения:

$$\mathbf{g}_{ef} = \mathbf{g} + a\omega\boldsymbol{\gamma}\sin(\omega t)$$

где ω — частота гармонических колебаний, a — амплитуда колебаний, $\boldsymbol{\gamma}$ — единичный вектор, направленный по оси вибраций, перпендикулярный направлению \mathbf{g} .

В [1] показано, что в случае $kh \ll 1$, где k — волновое число, h — глубина слоя, можно определить наиболее опасные возмущения k_m из соотношения:

$$k_m^2 = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\sigma} g, \quad (1)$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения на поверхности раздела.

Задача решалась на сетке 1000×350 при помощи метода решетчатых уравнений Больцмана (LBM), модель D2Q9. Для учета сил поверхностного натяжения и разрешения поверхности раздела «жидкость — газ» использовалась модель He — Chen — Zhang [2]. В ходе численного моделирования был по-

лучен профили квазистационарного рельефа на поверхности раздела двух слоев жидкости. Показано, что критическое волновое число хорошо совпадает с теоретически предсказанным значением (1).

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Пермского края (Программа поддержки Научных школ Пермского края, грант № С-26/788).

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

Список литературы

- [1] Любимов В. В., Любимова Т. П., Черепанов А. А. Динамика поверхности раздела в вибрационных полях / М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 216 с.
- [2] HUANG H., SUKOP M., LU X. Multiphase lattice Boltzmann methods: theory and application / Wiley-Blackwell, 2015. 388 p.

1.12. Володько О. С. Численное моделирование течений в озере Шира в летний период с использованием океанической модели ROMS

Озеро Шира занимает особое положение среди озер Восточной Сибири, что связано с его центральной ролью в образовании курортной зоны, и является объектом многочисленных исследований, основной целью которых является предотвращение ухудшения качества воды [1]. Численное моделирование является неотъемлемой частью процесса мониторинга экологической ситуации и осуществляется с использованием различных методов.

В данной работе проводится трехмерное моделирование гидрофизической картины течений в летний период с использованием океанической модели ROMS [2], имеющей ряд преимуществ по сравнению с другими, в частности, использование схем высокого порядка аппроксимации при расчете скоростей и примесей, возможность увеличения скорости расчета за счет распараллеливания.

Ранее эта модель использовалась для расчета течений больших водоемов (например, Мексиканский залив [3]). С использованием ROMS проведены расчеты на длительный период с учетом ветровой картины на озере Шира.

Для определения достоверности полученных результатов расчеты проводились на различных сетках и осуществлялось сравнение полученных результатов с натурными данными.

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

Список литературы

- [1] БАРАНОВ В. И., ГОЛЕНКО Н. Н., КОМПАНИЕЦ Л. А. Пространственно-временная изменчивость основных характеристик озера Шира в сезоне наблюдений 2011–2012 гг. // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. 2013. Т. 9. С. 148–156.

[2] ROMS. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.myroms.org/> (дата обращения 13.09.2019).

[3] BARKAN R., MCWILLIAMS J., SHCHERETKIN A. ET AL. Submesoscale dynamics in the northern Gulf of Mexico. Part I: Regional and seasonal characterization and the role of river outflow // Journal of Physical Oceanography. 2017. Vol. 47. N. 9. P. 2325–2346.

1.13. Гаврилова К. С. Численный анализ математических моделей функционирования системы онкомаркеров p53–Wip1–Mdm2

Белок p53 является центром контроля правильности выполнения основных генетических программ, отвечающих за определение судьбы клетки, включая программы клеточного старения и смерти, а также репарации ДНК в случае повреждения. Белки Mdm2 и Wip1 являются мишенями и отрицательными регуляторами p53. Все три белка — p53, Mdm2 и Wip1 — приняты в качестве биомаркеров большинства видов онкологических заболеваний. С развитием про-p53-, анти-Wip1- и анти-Mdm2-направленных терапий связывается прогресс в отсрочке начала опухолевого процесса или уменьшении нагрузки на опухоль.

В работе выполнен численный анализ трех известных математических моделей, которые с разной степенью подробности описывают динамику сигнального пути p53. Математические модели представляют собой нелинейные системы ОДУ и уравнений с запаздывающими аргументами. Главной целью исследования является анализ адекватности моделей, основанный на сопоставлении с известными экспериментальными данными Гарвардской медицинской школы о функционировании ключевой петли отрицательной обратной связи p53–Wip1, которые наглядно демонстрируют свойства p53 и Wip1 как онкомаркеров. Предложены модификации тех моделей, решения которых продемонстрировали существенное отклонение от экспериментальных зависимостей.

Выполнен численный анализ решений в широком диапазоне параметров. В ходе этих экспериментов для решений одной из моделей и ее модификации в биологически адекватном диапазоне значений решений и параметров обнаружены бифуркации Андронова — Хопфа и Неймарка — Сакера. Проведены серии численных экспериментов, направленных на анализ особенностей функционирования сигнального пути p53 под влиянием стрессового сигнала и терапевтического воздействия малыми молекулами.

1.14. Гильманов А.М., Силкин К.А., Скворцова В.Д., Захаров Е.А. Увеличение подъёмной силы крыла с использованием струйной механизации для лёгкого самолёта короткого взлёта и посадки.

Современные электрические двигатели превосходят авиационные двигатели внутреннего сгорания по удельным весовым характеристикам, компактности, экологичности и т. д. В настоящее время стоимость и удельная масса аккумуляторов заметно уменьшается, что открывает перспективу применения электрических силовых установок в новых компоновках ЛА, в том числе применение энергетических методов механизации с распределёнными по размаху электрическими двигателями.

Актуальность данной работы заключается в обеспечении короткого взлёта и посадки с использованием струйной механизации крыла (СМК) и управляемости на малых скоростях полёта, что позволит расширить область применения ЛА самолётного типа.

Цель работы заключается в проектировании крыла с СМК и определении основных параметров рассматриваемого профиля.

В результате работы решена задача численного моделирования внешнего обтекания крыла с СМК. Проводится проверочный расчёт простого профиля Р-III-15 с известными характеристиками [1]. Расхождение расчёта с экспериментальными данными на углах атаки менее 15 градусов составляют: по подъёмной силе 4%, по силе сопротивления 13%. По началу срыва потока на крыле от угла атаки 17%.

Проводится расчёт обтекания заданного крыльцевого профиля с СМК. Исследуется влияние интенсивности струйного обдува и геометрии профиля на характеристики крыла. Сравнение результатов расчёта с имеющимися полуэмпирическими зависимостями [2] показывает качественное совпадение параметров профиля крыла. Предложен вариант исполнения крыла с распределёнными электрическими компрессорами по размаху, проведён предварительный расчёт потребных мощностей и аккумуляторных батарей.

Вывод: исследования показывают возможность создания лёгкого ЛА с использованием СМК с электрическим приводом обдува. ЛА данной концепции может быть применён для выполнения различных работ в труднодоступных областях страны.

Для продолжения работы необходимо провести более детальное исследование вопроса, сконструировать натурную масштабную модель и определить интересные характеристики экспериментально.

Научный руководитель — к.т.н. Терёхин А. А.

Список литературы

- [1] КРАВЕЦ А. С. Характеристики авиационных профилей / М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1939. 331 с.
[2] ПЕТРОВ А. В. Энергетические методы увеличения подъёмной силы крыла / Физматлит, 2011. 397 с.

1.15. Глушко Т.А. Расчет интенсивного и нелинейного трения в газозвесах в методе гидродинамики сглаженных частиц

Расчет динамики газодисперсных сред (газовзвесей) востребован в ряде приложений: при конструировании химических реакторов, в которых протекают реакции с участием мелкодисперсных катализаторов, при моделировании эволюции протопланетных дисков и т. д. Для таких задач развиты модели, в которых несущая фаза (газ) и дисперсная фаза (пылевые частицы) описываются как взаимопроникающие сплошные среды. Характерным временем данной задачи является время релаксации скорости пыли к скорости газа. Во многих приложениях этот параметр сильно (от крайне малых значений до единицы) меняется в процессе моделирования. В задачу, сила трения может нелинейно зависеть от относительной скорости между газом и пылью. Эти факторы ставят высокую планку для численных методов, необходимых для таких задач.

В работе предлагается новый безытерационный алгоритм на основе гидродинамики сглаженных частиц (SPH) для расчёта смесей «газ — твёрдые частицы» с обменом импульсом между фазами. Силы (кроме силы трения) считаются явным образом, сила трения линеаризуется и вместе с временем релаксации скорости считается явно, а относительная скорость неявно. В вычислительных экспериментах показано, что при расчете интенсивного взаимодействия по данному алгоритму пространственное и временное разрешение можно выбирать независимо от параметров трения [1]. Такое свойство метода отличает его от ранее предложенных способов расчета межфазного взаимодействия в двухжидкостном SPH [2, 3]. Кроме того, показано, что метод дает приемлемую точность решения задачи в случае, когда сила трения нелинейно зависит от относительной скорости между газом и телами, при шагах по пространству и по времени, определяемых решением уравнений динамики чистого газа. Это означает, что предложенный метод расчета можно рекомендовать для задач с широким диапазоном размеров твердой фазы и таких, где размер твердой фазы меняется на порядки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 19-71-10026).

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

Список литературы

- [1] STOYANOVSKAYA O.P., GLUSHKO T.A., SNYTNIKOV N.V., SNYTNIKOV V.N. Two-fluid dusty gas in smoothed particle hydrodynamics: Fast and implicit

algorithm for stiff linear drag // *Astronomy and Computing*. 2018. Vol. 25. P. 25–37.

- [2] LOREN-AGUILAR P., BATE M. R. Two-fluid dust and gas mixtures in smoothed particle hydrodynamics: a semi-implicit approach // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 2014. Vol. 443. P. 927–945.
- [3] MONAGHAN J., KOCHARYAN A. simulation of multi-phase flow // *Computer Physics Communications*. 1995. Vol. 87. P. 225–235.

1.16. Гологуш Т.С., Черевко А.А., Петренко И.А., Остапенко В.В. Численное моделирование оптимального режима эмболизации артериовенозной мальформации на основе модели двухфазной фильтрации

Артериовенозная церебральная мальформация (далее АВМ) является сложным и опасным врожденным пороком развития сосудов головного мозга. Наличие артериовенозного шунта с высокой скоростью кровотока и, как следствие, наличие сброса крови из артериального в венозное русло, минуя капилляры, определяет патологию.

Наиболее предпочтительным методом лечения артериовенозных мальформаций является эмболизация — малоинвазивное хирургическое вмешательство, представляющее собой внутрисосудистое заполнение клубка патологических сосудов специальной эмболизирующей композицией. Данный метод лечения широко применяется, но не смотря на хорошо развитую технику операций по эмболизации, по-прежнему сохраняется риск интраоперационного разрыва сосудов. В связи с этим, моделирование процесса эмболизации АВМ является актуальной задачей. Цель данной работы состоит в том, чтобы смоделировать процесс эмболизации и построить для неё оптимизационный алгоритм.

Поскольку типичная АВМ состоит из большого количества взаимно пересекающихся сосудов малого диаметра, то она с достаточной точностью может рассматриваться как пористая среда. Процесс эмболизации описывается в этой модели внедрением в пористую среду, заполненную жидкостью (кровью), другой жидкости (эмболизирующего вещества), несмешивающейся с первой. Такой процесс в одномерном приближении описывается уравнением Баклея — Леверетта. Поток крови, поступающий в АВМ, меняется с течением операции за счет перераспределения крови в соседние здоровые сосуды. Этот эффект в модели учитывается путем введения для течения крови дополнительного обходного сосуда с постоянным сопротивлением.

Уравнение Баклея — Леверетта решается численно с помощью новой модификации схемы Кабаре, обеспечивающей правильное описание распадов разрывов для уравнения с невыпуклой функцией потока [1]. Этот подход хорошо воспроизводит существенные особенности разрывных двухфазных течений, возникающих в задачах эмболизации [2].

В данной работе изучается оптимальный с точки зрения безопасности и эффективности сценарий эмболизации АВМ. Сформулирована задача оптимальной эмболизации с ограничениями, возникающими из медицинских показаний. Для специального закона подачи эмболизата рассчитаны допустимые и оптимальные сценарии эмболизации. Выявлены способы допустимой и оптимальной эмболизации, снижающие риск разрыва сосудов АВМ.

При изучении задачи оптимальной эмболизации использовались функции Баклея–Леверетта, построенные с помощью приближения клинических данных, полученных во время мониторинга гемодинамических параметров во время нейрохирургических операций в НМИЦ им. Мешалкина [3].

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации (грант № 14.W03.31.0002).

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

Список литературы

- [1] OSTARENKO V., CHEREVKO A. Application of the CABARET scheme for calculation of discontinuous solutions of the scalar conservation law with nonconvex flux // *Dokl. Phys., Pleiades Publishing Ltd*. 2017. Vol. 62. P. 470–474.
- [2] CHEREVKO A., GOLOGUSH T., PETRENKO I. ET AL. Numerical modeling process of embolization arteriovenous malformation // *AIP Conference Proceedings*. 2017. Vol. 1893. N. 030123.
- [3] КНЕ А., CHEREVKO А., ШУРАКНИН А. ET AL. Monitoring of hemodynamics of brain vessels // *J. App. Mech. Tech. Phys.* 2017. Vol. 58. P. 763–770.

1.17. Горынин А.Г. Численно-аналитическое моделирование собственных колебаний слоистых балок в пространственной постановке

Слоистые анизотропные балки являются важными элементами многих современных конструкций и применяются в различных отраслях промышленности, развитие которых в значительной мере связано с использованием композиционных материалов. Одной из задач при исследовании поведения таких конструкций является нахождение собственных частот и форм колебаний слоистых балок.

В настоящей работе для решения краевых задач динамики слоистых балок сложного поперечного сечения использован метод асимптотического расщепления [1], суть которого заключается в сведении исходной трехмерной задачи теории упругости к двумерным и одномерным задачам, которые существенно проще исходной. В частных случаях полученные краевые задачи были решены аналитическими методами и найдены точные аналитические решения. Для численного решения двумерных краевых задач использован метод коллокаций и наименьших квадратов [2, 3] и метод конечных элементов, реализованный в пакете с открытым кодом FEniCS Project [4]. Для распространенных ти-

пов поперечных сечений композитных балок найдены первые собственные частоты колебаний. Произведено сравнение полученных результатов с расчетами по теории балки Бернулли – Эйлера и уточненной теории Тимошенко.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-29-18029).

Научный руководитель – д.ф.-м.н. Голушко С. К.

Список литературы

- [1] Горынин Г. Л., Немировский Ю. В. Пространственные задачи изгиба и кручения слоистых конструкций. Метод асимптотического расщепления / Новосибирск: Наука, 2004. 409 с.
- [2] Голушко С. К., Идимешев С. В., Шапеев В. П. Разработка и применение метода коллокаций и наименьших невязок к решению задач анизотропных слоистых пластин // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19. № 5. С. 24–36.
- [3] SHAPEEV V. P., BELYAEV V. A., GOLUSHKO S. K., ET AL. Possibilities and Applications of the Least Squares Collocation Method // EPJ Web of Conferences. 2018. V. 173. № 01012.
- [4] M.S. ALNAES, J. BLECHTA, J. NAKE, ET AL. The FEniCS Project Version 1.5 // Archive of Numerical Software. 2015. Vol. 3.

1.18. Гусев О.И., Хажимзянов Г.С. Моделирование взаимодействия длинных поверхностных волн с частично погруженным неподвижным телом в рамках моделей мелкой воды

В настоящее время часть высокотехнологичных объектов располагается или планируется разместить на воде в виде плавучих частично погруженных тел (плавучих причалов, доков, платформ, понтонов и т.п.) в морях и океанах. При проектировании таких сооружений необходимо учитывать вероятность возникновения волн цунами и, соответственно, последствия их силового воздействия на плавучий объект. Расчёт такого воздействия, в частности, позволяет вычислить необходимую массу и расположение якорей, чтобы плавучий объект не сдвинуло на берег или другое препятствие, таким образом нанеся серьёзные повреждения. Эти повреждения могут иметь катастрофические последствия для окружающей среды и населенных пунктов.

В работе используются модели мелкой воды [1] первого (SW) и второго (NLD) приближения в задачах о взаимодействии длинных поверхностных волн с частично погруженным неподвижным телом. Разработаны и численно реализованы условия сопряжения решений на границе между течением со свободной поверхностью и течением под телом. При помощи сравнений численных решений, полученных в рамках моделей мелкой воды, с решениями модели потенциальных течений (PF) и экспериментальными данными сделаны выводы об областях применимости моделей при различных значениях параметров, определяющих набегающую волну, размеры

тела и его осадку. В частности, показано, что SW-модель при всех рассмотренных параметрах задачи превышает амплитуду отражённой от тела волны. Результаты расчётов по NLD- и PF-моделям, а также экспериментов [2] близки в широком круге задач, что говорит о возможности применения в них NLD-модели.

Исследование выполнено при поддержке программы президиума РАН «Фундаментальные проблемы решения сложных практических задач с помощью суперкомпьютеров».

Список литературы

- [1] KNAKIMZYANOV G. S., DUTYKH D. Long wave interaction with a partially immersed body. Part I: Mathematical models // Communications in Computational Physics. 2019. Vol. 24. (в печати).
- [2] LU X., WANG K.-H. Modeling a solitary wave interaction with a fixed floating body using an integrated analytical–numerical approach // Ocean Engineering. 2015. Vol. 109. P. 691–704.

1.19. Гусельникова О.О., Золотухина О.С., Кислицын С.А., Гришков В.А., Митин К.А., Бердников В.С. Экспериментальное и численное моделирование кристаллизации легкоплавких веществ при донном охлаждении плоских слоев

Экспериментально и численно исследованы процессы кристаллизации гептадекана и воды при донном охлаждении плоских слоев. Экспериментальные исследования проведены на стендах с прозрачными рабочими участками, что позволило наблюдать и проводить цифровую видеосъемку пространственных форм течения визуализированной жидкости в центральных сечениях полостей нормальных к вертикальным стенкам или дну. Экспериментально исследована эволюция полей скорости и температуры. Поля температуры и скорость формирования фронта кристаллизации жидкости измерены методами интерферометрии и гильберт-оптики.

Численно в двухмерной постановке в декартовых координатах изучена кристаллизация легкоплавких веществ в плоском слое жидкости в режимах внезапного или монотонного охлаждения дна. Расчеты выполнены методом конечных элементов. В качестве базисных функций были выбраны линейные функции на треугольниках. Расчеты проведены с использованием адаптивной сетки, отслеживающей положение фронта кристаллизации на каждом временном шаге. Треугольная сетка отслеживает положение фронта кристаллизации и сгущается с обеих его сторон, а также в различной степени ко всем границам расчетной области. Решалась система уравнений нестационарной свободной конвекции с учетом теплоты фазового перехода. В затвердевшем веществе решались уравнения нестационарной теплопроводности. Решения получены в режимах сопряженного теплообмена с заданием условий

неразрывности полей температуры и тепловых потоков.

Аналогичные расчеты проведены методом прямого счета. Проведено сравнение численных результатов, полученных различными методами учета фронта кристаллизации, и с данными о температуре, пространственной форме конвективных течений и формах фронтов кристаллизации, полученными экспериментально.

Полученные численные результаты существенно дополняют данные экспериментов и важны для понимания процессов кристаллизации расплавов, обладающих инверсными зависимостями плотности от температуры, в различных вариантах метода Бриджмена – Стокбаргера.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТ СО РАН (III.18.2.5, Гос. рег. АААА-А17-117022850021-3) и частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-38-00790-мол_а).

1.20. Добролюбова Д.В., Шурина Э.П. Применение модифицированной вариационной постановки векторного метода конечных элементов для моделирования гармонического электрического поля в областях с криволинейными экранами

Тонкие экранирующие объекты широко используются в электротехнических приложениях, при создании тонкослойных композитных материалов. В задачах электромагнитного каротажа стальная обсадка скважины представляет собой тонкое (порядка 1–2 см) сильнопроводящее включение, значительно ослабляющее электромагнитное поле во внешней области. Высокая контрастность электрофизических характеристик таких объектов относительно вмещающей среды и их геометрическая разномасштабность обуславливают рост вычислительных затрат при использовании сеточных методов численного моделирования [1]. В настоящее время для снижения вычислительных затрат в задачах с тонкими контрастными объектами применяются неконформные численные методы [1], плоские конечные элементы [2], а также модифицированные вариационные постановки на основе асимптотических разложений [3].

Модифицированная вариационная постановка векторного метода конечных элементов, учитывающая тонкие сильнопроводящие трехмерные объекты как токонесущие поверхности, позволяет избежать дискретизации их объема и таким образом сократить вычислительные затраты [4]. В данной работе исследуется применимость модифицированной вариационной постановки для моделирования гармонического электрического поля, возбуждаемого соленоидальным источником, в расчетных областях с сильнопроводящими замкнутыми криволинейными включениями и экранами различных размеров в диапазоне частот от 50 КГц до 50 МГц.

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ № 0266-2019-0007.

Список литературы

- [1] CALO V., PARDO D., PASZYNSKI M. Goal-Oriented Self-Adaptive hp Finite Element Simulation of 3D DC Borehole Resistivity Simulations // Procedia Computer Science. 2011. Vol. 4. P. 1485–1495.
- [2] GUERIN C., MAUNIER G. 3-D magnetic scalar potential finite element formulation for conducting shells coupled with an external circuit // IEEE Transactions on Magnetics. 2012. Vol. 48. N. 2. P. 823–826.
- [3] SCHMIDT K., CHERNOV A. A unified analysis of transmission conditions for thin conducting sheets in the time-harmonic eddy current model // SIAM Journal on Applied Mathematics. 2013. Vol. 73. N. 6. P. 1980–2003.
- [4] ШУРИНА Э.П., ДОБРОЛЮБОВА Д.В., ШТАНЬКО Е.И. Редуцированная вариационная постановка для моделирования гармонического электромагнитного поля в областях с малыми проводящими включениями // Вычислительные технологии. 2018. Т. 23. № 3. С. 92–108.

1.21. Ефремов А.А. Решение задачи о ценообразовании срочного американского опциона комбинированным полулагранжевым методом

В области стохастической финансовой математики возникает задача о моделировании ценообразования срочного американского опциона. Поскольку получить точное решение для модели срочного американского опциона на ограниченном временном интервале не представляется возможным в силу нелинейной природы дифференциальной задачи [1], на протяжении последних пятидесяти лет предлагаются различные численные методы решения. В работе на примере модели срочного американского опциона put предложена смешанная численная схема решения задачи со свободной границей, полученная с использованием метода конечных элементов и полулагранжева подхода. Ранее полулагранжеву аппроксимацию эллиптической части задачи со свободной границей и конечно-разностный подход для конвективной на примере азиатских срочных опционов применили в [2–4].

Рассмотрим модель срочного американского опциона put, описанную в виде задачи со свободной границей. Будем искать такие, что функции удовлетворяют задаче со свободной границей

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\sigma^2}{2} S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + rS \frac{\partial V}{\partial S} - rV &= 0, \\ V(S, t) &\in \Sigma_1, \\ V(S_0(t), t) &= K - S_0(t), \\ V_S(S_0(t), t) &= -1, \\ V(+\infty, t) &= 0, \\ V(S, T) &= (K - S)^+, \\ S(T) &= K. \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь S — цена базового актива, K — цена исполнения опциона, T — время истечения опциона, r — ставка рефинансирования, σ — волатильность базового актива. Для построения аппроксимации введем в первое уравнение системы (1) некоторую ненулевую правую часть f . После декомпозиции получим следующее разбиение на подзадачи

$$\mathcal{L}V = \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\sigma^2}{2} S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + rS \frac{\partial V}{\partial S} - rV = f,$$

$$\mathcal{L}_{fem}V = \frac{\sigma^2}{2} S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} - rV = f_1,$$

$$f_1 = -\frac{\partial V}{\partial t} - rS \frac{\partial V}{\partial S} + f,$$

$$\mathcal{L}_{sL}V = \frac{\partial V}{\partial t} + rS \frac{\partial V}{\partial S} = f_2,$$

$$f_2 = -\frac{\sigma^2}{2} S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + rV + f.$$

Будем аппроксимировать конвективный оператор $\mathcal{L}_{fem}V$ методом конечных элементов, а эллиптический оператор $\mathcal{L}_{sL}V$ аппроксимируем полулагранжевым методом.

Для получения полного решения задачи обсудим алгоритм поиска S_0 . Используем разложение в ряд Тейлора $V(S)$ в точке S_0 . Пусть \tilde{S}_0 это некоторое известное начальное приближение S_0 . В нашем случае на временном шаге T полагается, что $S_0(T) = K$. Получаем

$$V(S) = V(\tilde{S}_0) + (\tilde{S}_0 - S_0) \frac{\partial V}{\partial S_0}(\tilde{S}_0) + O((\tilde{S}_0 - S_0)^2).$$

Используя условия первое и второе условие системы (1) получаем

$$K - \tilde{S}_0 = V^h(\tilde{S}_0) - (\tilde{S}_0 - S),$$

$$S_0^{\text{new}} = K - V^h(\tilde{S}_0).$$

Авторами было проведено исследование порядка сходимости метода на серии пространственных сеток $N = 2^n \cdot 150$, $n = 0, \dots, 6$. За точное решение было принято решение, полученное на сетке размерностью $N = 150 \cdot 2^7 = 9600$ точек. Результаты экспериментов показали, что метод обладает первым порядком сходимости по времени и вторым порядком сходимости по пространству.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта: «Численное моделирование формирования квазиустойчивых фигур, образованных многокомпонентной газовой смесью, вытекающей из промышленной дымовой трубы».

Научный руководитель — д.ф.-м.н., член-корр. РАН Шайдуров В. В.

Список литературы

- [1] MERTON R. C. Theory of Rational Option Pricing // The Bell Journal of Economics and Management Science. 1973. Vol. 4. No. 1. P. 141–183.
- [2] PARROTT A. K., CLARKE N. The Parallel Solution of Early-exercise Asian Options with Stochastic Volatility // Proc. Intern. Conf. «11th Domain Decomposition Methods». Bergen: Domain Decomposition Press, 1999. P. 439–446.
- [3] PARROTT A. K., ROUTE S. Semi-Lagrange Time Integration for PDE Models of Asian Options // Proc. Intern. Conf. «Progress in Industrial Mathematics at ECMI 2004». Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006. Vol. 8. P. 432–436.
- [4] D'HALLUIN Y., FORSYTH P. A., LABAHN G. A Semi-Lagrangian Approach for American Asian Options under Jump Diffusion // SIAM J. Sci. Comput. 2005. Vol. 27. Iss. 1. P. 315–345.

1.22. Зипунова Е.В., Перепёлкина А.Ю., Закиров А.В. Развитие схемы метода LBM для неизотермических течений с произвольно большим числом Маха.

Вычислительная гидрогазодинамика широко используется при разработке новых технологий, прогнозе погоды, влияния природных и техногенных чрезвычайных ситуаций.

При решении задач динамики жидкостей и газов в области малых скоростей потока и при изотермических условиях с успехом применяется метод решёточного уравнения Больцмана (LBM) [1]. LBM является современным методом гидродинамики и выводится путём дискретизации кинетического уравнения Больцмана. Функция распределения по скоростям представляется небольшим числом дискретных значений в пространстве скоростей — дискретные функции распределения (ДФР). Для ДФР определены правила переноса, то есть копирования значения из соответствующей точки, и столкновения, то есть релаксации к локальному равновесию в узлах сетки.

В статье [2] был предложен метод решения дискретного уравнения Больцмана PoD, альтернативный LBM, свободный от указанных ограничений. Это получено за счёт введения перекалибровки ДФР из условия инвариантности гидродинамических моментов относительно выбора переменной интегрирования. В вычислительном аспекте, по сравнению со стандартным подходом LBM, шаг столкновений упрощается, но для выполнения переноса требуется применять неявную схему, вычислительно сложную и неконсервативную в общем случае.

В [3] был предложен вариант метода PoD, обеспечивающий консервативность и использующий явную схему переноса. В частности для шаблона D1Q5 и интерполяции многочленом Лагранжа по трем точкам получены явные зависимости моментов на новом временном шаге от моментов на текущем временном шаге. Таким образом определя-

ется скорость и температура на новом временном шаге. Кроме того, при фиксированном шаблоне интерполяции схема становится консервативной.

Были разработаны и протестированы новые подходы к операции переноса схемы PonD D1Q5. В данной работе был реализован метод PonD D1Q5 с итерационным расчетом скорости переноса, как в [2] и с явным расчетом первых трех моментов, включая скорости переноса, предложенным для D1Q5 в [3]. Реализованные методы применялись для моделирования распада разрыва и затухания плоской продольной волны. Получено совпадение результатов расчетов с аналитическим решением.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-71-10004).

Список литературы

- [1] SAURO SUCCI. The lattice Boltzmann equation: for fluid dynamics and beyond / Oxford university press. 2001. 308 p.
- [2] DORSCHNER B., BÖSCH F., KARLIN I. V. Particles-on-Demand for Kinetic Theory // Physical review letters. 2019. Vol. 12. N. 13. P. 130602.
- [3] ZAKIROV A., KORNEEV B., LEVCHENKO V., PEREPELKINA A. On the conservativity of the Particles-on-Demand method for the solution of the Discrete Boltzmann Equation // Keldysh Institute Preprints. 2019. N. 35. 19 p.

1.23. Идимешев С.В. Применение дробно-рациональной аппроксимации в решении начально-краевых задач

Спектральные методы — это высокоточные численные методы решения дифференциальных и интегро-дифференциальных уравнений, которые нашли свое применение в различных областях науки [1]. В отличие от широко известных численных методов (таких как конечные разности и конечные элементы), в которых используется кусочное (финитное) представление решения, в спектральном методе решение задачи аппроксимируется одной глобальной функцией, определенной на всей расчетной области.

Целью работы является исследование и разработка численного алгоритма для дробно-рациональной аппроксимации в спектральном методе для задач с особенностями. По сравнению с традиционной полиномиальной аппроксимацией, дробно-рациональная (отношение двух полиномов) имеет принципиально лучшие свойства при приближении функций с особенностями в виде больших градиентов и ограниченной гладкости [2]. Но применение дробно-рациональных функций затруднено в связи с нелинейностью относительно коэффициентов и возможной сингулярностью из-за нулей полинома в знаменателе. В работе предлагается использовать барицентрическую форму записи дробно-рациональных функций, которая не только линеаризует форму записи, но и гарантирует отсутствие

нулей в знаменателе [3]. При этом для функций с особенностями предлагается использовать различные методы адаптивного распределения точек в окрестности особенности. В работе предложен алгоритм адаптивного распределения точек коллокации, использующий информацию об особенности функции в комплексной плоскости. Предложен способ одновременного учета нескольких особенностей (учет нескольких фронтов). Верификация метода проведена на примере уравнения Бюргерса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-31-00202-мол_a).

Список литературы

- [1] CANUTO C., HUSSAINI M., QUARTERONI A., ZANG T. Spectral Methods: Fundamentals in Single Domains / Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. 565 p.
- [2] TREFETHEN L. N. Spectral Methods in MATLAB / Philadelphia: SIAM, 2000. 160 p.
- [3] TREFETHEN L. N. Approximation Theory and Approximation Practice / SIAM, 2013. 305 p.

1.24. Кагенов А.М., Костюшин К.В., Аугасанова К.Л., Котоногов В.А. Трехмерное математическое моделирование натекания одиночной сверхзвуковой струи на плоскую и наклонную преграды

Задача натекания сверхзвуковых струй на преграды является актуальной для ракетно-космической отрасли. Ряд работ посвящён исследованиям взаимодействия сверхзвуковых струй с числами $M < 3$ на срезе сопла и на расстояниях преграды в ближнем поле струи, однако для задач старта или посадки особый интерес представляет моделирование взаимодействия струй с числами $M > 3$.

В работе рассматривается натекание одиночной сверхзвуковой струи с числом $M = 4$ на срезе сопла на плоскую наклонную и перпендикулярно расположенную преграду на расстояниях до 12 калибров. Математическая модель основана на уравнениях Навье — Стокса осредненных по Фавру. Для замыкания системы уравнений использовались уравнение состояния идеального газа и уравнения модели турбулентности SST. Для реализации физико-математической модели и проведения численных исследований применялось свободное программное обеспечение OpenFOAM [1]. Численный метод реализован на методе контрольных объемов, потоки через границы ячеек находились из приближенного решения задачи Римана по схеме Курганова — Тадмора. Численные исследования выполнены с использованием суперкомпьютера Томского государственного университета СКИФ Cyberia.

Получено хорошее совпадение результатов расчетов с экспериментальными и теоретическими данными работ [2, 3]. Выполнено параметрическое исследование с изменением угла наклона преграды, угол варьировался от 5 до 20 градусов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Томской области в рамках научного проекта № 19-41-703005.

Список литературы

- [1] КАГЕНОВ А. М., ЕРЕМИН И. В., ГЛАЗУНОВ А. А., ТЫРЫШКИН И. М. Применение пакета OpenFOAM для расчета течений газа в соплах и струях // Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. Т. 56. № 9/3. С. 66–68.
- [2] КУДИМОВ Н. Ф., САФРОНОВ А. В., ТРЕТЬЯКОВА О. Н. Результаты экспериментальных исследований взаимодействия многоблочных сверхзвуковых турбулентных струй с преградой // Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. № 69. С. 1–11.
- [3] КУДИМОВ Н. Ф., САФРОНОВ А. В., ТРЕТЬЯКОВА О. Н. Численное моделирование взаимодействия многоблочных сверхзвуковых турбулентных струй с преградой // Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. № 70. С. 1–14.

1.25. Кайгородцева А.А., Шутов А.В. Модель термопластичности с учётом накопления энергии дефектов кристаллической решётки

В настоящей работе предлагается макроскопическая феноменологическая модель, описывающая поведение металлических материалов в условиях немонотонного термомеханического нагружения. Модель является обобщением модели Shutov — Ihlemann [1]. Система определяющих соотношений учитывает изотропное и кинематическое упрочнение. Термическая и механическая части модели полностью связаны. Кинематика основана на вложенных мультипликативных разложениях тензора градиента деформации, включая разложение на температурную и механическую части. Уравнение теплопроводности выводится непосредственно из первого закона термодинамики и, следовательно, явно учитывает термоупругий эффект. Второй закон термодинамики выполняется как достаточное условие для произвольных термомеханических процессов. Модификация состоит в точном учёте накопления энергии дефектов кристаллической решётки. Предлагается критерий разрушения, в котором макротрещина образуется в случае достижения энергии дефектов некоторого порогового значения. Предлагается эффективный алгоритм численного счёта и обсуждается внедрение модели в комплекс метода конечных элементов. Представлено решение модельных задач.

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

Список литературы

- [1] SHUTOV A.V., IHLEMANN J. On the simulation of plastic forming under consideration of thermal effects // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. 2011. Vol. 42. N. 7. P. 632–638.

1.26. Каримов И., Минибаева Л., Клинов А.В. Оценка эффективности сжигания аммиакосодержащего газа в реакционных печах установки Клауса с использованием методов вычислительной гидродинамики

Оценку сжигания кислых газов в реакционных печах Клауса можно провести экспериментально с помощью комбинации оборудования, например, газовой хроматографии, массива температурных датчиков и современного не интрузивного лазерного измерения. Однако, стоимость такой экспериментальной установки часто слишком высока для большинства исследователей. Кроме того, измерение при высокой температуре ($>1000^\circ\text{C}$), а также использование сероводорода в качестве топлива для сжигания потенциально опасно. В качестве альтернативы можно использовать численные методы исследования с помощью вычислительной гидродинамики, можно провести детальную оценку системы сгорания, позволяющую получить детальную картину по полям скорости, температур, компонентов и др. Вычислительная гидродинамика проявила себя как эффективный инструмент для прогнозирования характеристик потока и химического состава в различных областях применения, включая комплекс реакций, происходящих в печах сгорания.

Для оценки эффективности сжигания аммиакосодержащего газа была разработана математическая модель реакционной печи Клауса с использованием комплекса вычислительной гидродинамики ANSYS FLUENT.

Учитывая вычислительную сложность и большой размер аппарата, расчетная область разбивается на части. В области подачи кислых газов и окислителя производится трехмерный расчет поля скоростей потоков кислых газов (сероводородный, аммиакосодержащий) и воздуха соответственно. Результаты расчётов по составляющим скорости используются в качестве граничных условий на входе для расчета горения в печи. Для упрощения расчета химии горения в печи Клауса решается в 2D-постановке.

Проведена работа по изучению влияния температуры горения на эффективность сжигания в реакционной печи Клауса в диапазоне $1150\text{--}1350^\circ\text{C}$. Получена зависимость содержания остаточного аммиака от температуры в печи. Результаты данной работы позволяют оценить эффективность работы реакционных печей Клауса, где в качестве сырьевого газа дополнительно используется аммиакосодержащий газ.

1.27. Керова О.И., Перминов В.А. Математическое моделирование распространения разлива нефтепродуктов при повреждении нефтепровода в русле реки

В данной работе представлена математическая модель загрязнения нефтепродуктами водной среды при разрыве трубопровода. В результате проведения численных расчетов были получены распределения полей скорости и концентраций нефтепродуктов вблизи места повреждения [1]. Данная математическая модель и полученные с ее помощью результаты могут быть использованы для прогнозирования распространения нефти в воде и своевременного обнаружения места утечки.

Методы описания распространения загрязняющих примесей в водоемах помогают оценить состояние водной среды. По результатам данных оценок разрабатываются меры по обеспечению экологической безопасности при возникновении данных чрезвычайных ситуаций. В работе представлена математическая модель процесса тепло- и массопереноса, расчет полей скорости, температуры и концентраций загрязняющих компонент в водоеме. В местах, где нефтепровод пересекает водоемы, могут происходить разрывы трубопроводов [2]. Сделать предположение о том, как будет развиваться ситуация при разливе нефти, можно с помощью математических моделей аварийной ситуации. После выполнения расчетов и установления тенденции распространения загрязнения необходимо производить мониторинг ситуации под водой при помощи специальных датчиков, которые помогают заблаговременно узнавать об аварийной ситуации, связанной с разливом нефти. Чтобы качественно установить датчики отслеживания загрязнений необходимо смоделировать ситуацию разлива и изучить движение нефти в водной среде.

В данной задаче мы будем рассматривать участок реки с заданной скоростью течения, на дне которого располагается трубопровод в системе подводного перехода. В предполагаемой ситуации происходит повреждение трубопровода и смесь нефтепродуктов непрерывным истечением поступает в открытый водоем.

Влияние на процессы, происходящие в воде при попадании в нее нефтепродуктов, зависит от многих параметров: скорость и направление ветра и течения реки; изменение температуры с изменением глубины; характер утечки (постепенное истечение или залповое). Нефть способна испаряться, растворяться, биологически, фото- и термохимически разлагаться, эмульгировать с водой, оседать на дне и всплывать на поверхность, адсорбироваться и абсорбироваться, обволакивать взвешенные частицы, а также потребляться биологическими организмами. Невозможно в рамках одной модели учесть абсолютно все факторы, однако, чем

больше значимых факторов будет учтено, тем точнее будут результаты и тем больше они будут соответствовать реальности [3].

Целью данной работы является расчет поля концентрации нефтепродуктов, вытекающих из нефтепровода, поля скоростей воды и нефти, а также предположительные направления изменений в заданной области (для дальнейшего изучения и прогнозирования последствий при возникновении аналогичной ситуации в будущем). Для численного решения данной задачи использовалось программное обеспечение PHOENICS [4].

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

Список литературы

- [1] ПАТАНКАР С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / М: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
- [2] GUANDALINI R., AGATE G., MOIA F. Numerical 3D modelling of oil dispersion in the sea due to different accident scenarios // Energy Procedia. 2017. Vol. 125. N. 1. P. 161–169.
- [3] LI X., CHEN G., ZHU H. Modelling and assessment of accidental oil release from damaged subsea pipelines // Marine Pollution Bulletin. 2007. Vol. 123. N. 1. P. 133–141.
- [4] Official website of Phoenix software. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cham.co.uk/phoenics.php> (дата обращения 30.05.2019).

1.28. Кириллова Н.Е. Фазовые портреты моделей генных сетей

Дифференциальные уравнения имеют широкий спектр применения во многих отраслях науки, в том числе и в биологии. Область применения данной работы заключается в математическом моделировании природных генных сетей с целью планирования биологических экспериментов. В недавних публикациях [1, 2] рассматривались вопросы существования периодических траекторий нелинейных динамических систем, моделирующих функционирование генных сетей. Принципы построения таких математических моделей описаны в [3]. В настоящей работе проведена дискретизация фазовых портретов динамических систем, с помощью которой удастся исследовать их периодические траектории. Наличие таких осциллирующих режимов функционирования генных сетей является важной характеристикой происходящих в них биохимических процессов. В соавторстве с коллегами разработан алгоритм построения инвариантных областей в фазовых портретах нелинейных динамических систем. Актуальность этих построений связана с тем, что поиск периодических траекторий таких динамических систем можно сузить до рассмотрения указанных инвариантных областей. Для исследуемых систем также были проведены численные эксперименты в пакете STEP, иллюстрирующие полученные теоретические результаты.

Рассматриваются модели генных сетей в виде динамической системы размерности n :

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} = f_i(x_{i-1}) - k_i x_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Здесь $i - 1 := n$ при $i = 1$, а $f_i(x_{i-1})$ — гладкие функции положительного аргумента, которые либо строго монотонно убывают и моделируют отрицательные обратные связи, либо строго монотонно возрастают и моделируют положительные обратные связи.

Лемма 1. Q^n является инвариантной областью системы (1).

Лемма 2. Система (1) имеет единственную стационарную точку S_0 .

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-01-00057).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Голубятников В. П.

Список литературы

- [1] Аюпова Н. Б., Голубятников В. П., Казанцев М. В. О существовании цикла в одной несимметричной модели молекулярного репрессилатора // Сибирский журнал вычислительной математики. 2017. Т. 20. № 2. С. 121–129.
- [2] BUKHARINA T., GOLUBYATNIKOV V., KIRILLOVA N. ET AL. Mathematical and numerical models of two asymmetric gene networks // SEMR. 2018. Vol. 15. P. 1271–1283.
- [3] MURRAY J. Mathematical biology: I. An introduction, third edition / Springer, 2007.

1.29. Кислицын С.А., Митин К.А., Бердников В.С. Моделирование процессов теплообмена при росте монокристаллов методом Бриджмена — Стокбаргера в неподвижных и вращающихся тиглях

Метод Бриджмена — Стокбаргера — один из основных методов выращивания монокристаллов из расплавов. Метод позволяет выращивать кристаллы широкой номенклатуры: полупроводниковые материалы; материалы для инфракрасной оптики и лазерной техники; сцинтилляторы и другие. Метод активно используется в производстве кремния солнечного качества в плоскостных тиглях цилиндрической и прямоугольной формы. Метод разрабатывался исходя из предположения, что при донном охлаждении тигля с расплавом можно подавить свободную конвекцию и тем самым обеспечить рост кристалла с плоским фронтом кристаллизации и высокой однородностью радиального распределения его кристаллографических свойств. Однако вследствие различия коэффициентов теплопроводности стенок тигля и расплава появляются радиальные градиенты температуры и в расплаве неизбежно возникает конвекция и конвективный теплообмен, влияющий на формы фронта кристаллизации. Задачами фундаментальных исследо-

ваний в данной области технологий являются изучение влияния сопряженного конвективного теплообмена на формирование фронта кристаллизации на разных стадиях технологического процесса и поиск технологически приемлемых способов управления гидродинамикой и конвективным тепло- и массообменом на различных стадиях процесса получения слитка.

Численно (методом конечных элементов) в осесимметричной постановке исследован процесс роста слитка кремния в методе Бриджмена — Стокбаргера в системе «кристалл — расплав — тигель», подобной используемой в реальной технологии. В режимах нестационарной теплопроводности и термогравитационной конвекции при неподвижном и равномерно вращающемся тигле учтена теплота фазового перехода. Решалась система уравнений нестационарной термогравитационной конвекции в сопряженной постановке задачи. Для определения полей температуры в кристалле и стенках тигля решались нестационарные уравнения теплопроводности. Исследования проведены при различных скоростях опускания тигля, различных градиентах температуры на внешней поверхности тигля, различных значениях перегрева расплава относительно температуры кристаллизации. Проведено сравнение процессов кристаллизации в режимах нестационарной теплопроводности, свободной конвекции и центробежной-гравитационной конвекции. Исследована зависимость формы фронта кристаллизации от режима теплообмена. Изучено влияние на процесс роста кристалла чисел Прандтля расплава и отношений теплопроводности расплава и стенок тигля. Показано, что форма фронта кристаллизации существенно зависит от режима теплообмена и комбинации коэффициентов теплопроводности расплава, кристалла и стенок тигля, высоты слоя расплава.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТ СО РАН (Ш.18.2.5, Гос.Рег. АААА-А17-117022850021-3) и частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-38-00790-мол_а).

1.30. Климонов И.А., Свешников В.М. Решение 3D краевых задач на регулярных подсетках квазиструктурированных сеток

Рассматривается решение трехмерных краевых задач на параллелепипедальных квазиструктурированных сетках. Их суть состоит в том, что расчетная область разбивается структурированной макросеткой на параллелепипедальные подобласти, в каждой из которых строится своя структурированная подсетка, то есть фактически проводится декомпозиция расчетной области на непересекающиеся подобласти. Плотность узлов в подсетках регулируется исходя из физических соображений. Совокупность подсеток образует квазиструктурированную сетку.

Ее достоинством является, с одной стороны, простота использования и, с другой стороны, адаптивность к решению за счет регулировки плотности узлов подсеток. Сшивка решений в подобластях осуществляется путем прямой аппроксимации и решения уравнения Пуанкаре – Стеклова на границе сопряжения подобластей (интерфейсе), что приводит к итерационному процессу, на каждом шаге которого необходимо решать краевые подзадачи. Решение краевых подзадач занимает основное время решения всей задачи и поэтому должно проводиться быстрыми методами и программами (решателями).

В докладе приводятся результаты экспериментальных исследований эффективности различных решателей для регулярных подобластей. Используются коды из библиотеки MKL, программы, реализующие трехмерный аналог метода Писмана – Рэчфорда [1], и метод последовательной верхней релаксации (ПВР). Метод ПВР является наиболее простым и допускает наиболее эффективную реализацию. Рассматриваются случаи однократного и многократного решения подзадач, что имеет место, например, при решении самосогласованных задач сильноточной электроники [2]. В докладе показано преимущество ПВР в сравнении с другими рассматриваемыми алгоритмами.

Список литературы

- [1] Климонов И. А., Корнеев В. Д., Свешников В. М. Технологии распараллеливания решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках в гибридной вычислительной среде CPU+GPU // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. 2016. Т. 17. № 1. С. 65–71.
- [2] Свешников В. М. Метод декомпозиции расчетной области в задачах сильноточной электроники // СибЖИМ. 2015. Т. 18. № 2. С. 124–130.

1.31. Климонов И.А., Усов Э.В. Использование технологии OpenMP для распараллеливания модуля расчёта разрушения одиночного ТВЭЛа SAFR/V1 интегрального кода ЕВКЛИД/V2

Для обоснования безопасности перспективных установок с жидкометаллическим теплоносителем требуется система расчётных кодов, позволяющая моделировать реакторное оборудование и установку в комплексе, например, моделирование тяжелых запроектных аварий типа ULOF и UTOP, возникающих при отказе защитных систем и протекающих с плавлением оборудования активной зоны. В рамках частного проекта «Коды нового поколения» проектного направления «Прорыв» в ИБРАЭ РАН разрабатывается код SAFR/V1 [1], который входит в состав универсального интегрального кода ЕВКЛИД/V2 [2] и позволяет рассчитывать термическое разрушение одиночного тепловыделяющего элемента (ТВЭЛа), вследствие его плавления

в активной зоне и перемещение образовавшегося расплава оболочки и топлива. Моделирование тяжелых запроектных аварий типа ULOF и UTOP, даже с использованием простых нодализационных схем активной зоны, включает более десяти типов ТВЭЛов, расчёт которых можно производить параллельно.

В данной работе представлена технология распараллеливания модуля SAFR/V1 с использованием OpenMP. Проведено как распараллеливание решения по разным ТВЭЛам, так и решение уравнения теплопроводности в энтальпийной формулировке каждого. Выполнена серия численных экспериментов с различным количеством ТВЭЛов и при различных параметрах расчёта, показывающая ускорение вычислений. Представленная задача является актуальной для моделирования тяжёлых аварий реакторных установок в плане оптимизации и ускорения расчётов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (грант № 18-79-10013).

Список литературы

- [1] Усов Э. В., Бутов А. А., Чухно В. И. и др. Моделирование плавления твэла быстрого реактора и затвердевания образующегося расплава с помощью модуля SAFR/V1 интегрального кода ЕВКЛИД/V2 // Атомная энергия. 2018. Т. 124. № 3. С. 123–126.
- [2] Бутов А. А., Жданов В. С., Климонов И. А. и др. Физические модели для расчета разрушений твэла и активной зоны реактора с жидкометаллическим теплоносителем, реализованные в коде ЕВКЛИД/V2 // Теплоэнергетика. 2019. № 5. С. 5–15.

1.32. Кривов М.А. Получение вероятностных оценок для остаточной массы и плотности метеорита Иннисфри с использованием графических ускорителей

Практически единственной информацией, на основании которой можно сделать предположения о процессе движения и горения метеороида в атмосфере Земли, являются данные с фото-детекторов обсерваторий и видео-съёмки от случайных очевидцев. Так как географические координаты наблюдателей известны, то по этим материалам удастся восстановить значения высоты и скорости болида для участка пути, на котором происходило интенсивное горение вещества.

При этом практический интерес представляют оценки для остаточной массы, точки падения, а также прочих характеристик небесного тела, которые можно получить только с помощью математического моделирования. Один из актуальных подходов [1] заключается в решении системы ОДУ, описывающей весь процесс движения и горения небесного тела. К сожалению, для данной системы невозможно определить начальные условия, однако после ряда упрощений, обезразмеривания величин и введения

искусственных параметров можно построить автономное решение [2].

В докладе рассматриваются результаты апробации предложенного автором метода [3], в соответствии с которым формируется коллекция ожидаемых значений для неизвестных параметров, благодаря чему становится возможным дополнить систему ОДУ начальными условиями и решить её численно. Таким образом, моделирование производится для десятков тысяч виртуальных метеоритов, среди которых отбираются случаи, наиболее соответствующие наблюдаемому явлению. Схема применения данного метода иллюстрируется на примере анализа достаточно хорошо изученного метеорита Иннисфри, упавшего 5 февраля 1977 года [4]. В силу большого числа независимых операций, сопутствующих расчёты по решению порождаемых систем ОДУ проводились на базе графического ускорителя NVIDIA GeForce 2080 Ti.

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

Список литературы

- [1] Стулов В. П., Мирский В. Н. и др. Аэродинамика болидов / Москва: Наука, 1995. 236 с.
- [2] TURCHAK L., GRITSEVICH M. Meteoroids interaction with the Earth atmosphere // Journal of Theoretical and Applied Mechanics. 2014. Vol. 44(4). P. 15–28.
- [3] КРИВОВ М. А. Численное моделирование движения небесных тел в атмосфере Земли // Тезисы XIX Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2018. С. 26.
- [4] HALLIDAY I. ET AL. The Innisfree meteorite fall: a photographic analysis of fragmentation, dynamics and luminosity // Meteoritics. 1981. Vol. 16. P. 153–170.

1.33. Клышников К.Ю., Онищенко П.С., Овчаренко Е.А., Стасев А.Н., Брель Н.К., Кокков А.Н., Евтушенко А.В., Барбараш Л.С. Численный анализ гемодинамики протеза клапана сердца

Гемодинамическая оценка работы биопротезов клапанов сердца численными методами является ценным инструментом анализа детальных качественных и количественных характеристик тока крови и биомеханики медицинского изделия. Прогнозирование особенностей напряженно-деформированного состояния и рисков, ассоциированных со структурой и нестабильностями тока крови, могут стать основой для корректировки послеоперационного сопровождения пациента и базой для оптимизации критических узлов протеза клапана.

Объектом данного исследования стал клинический случай имплантации бескаркасного биологического протеза клапана аорты, на основе компьютерной томографии которого воспроизводили псевдосочетанный анализ системы «твердое тело — жид-

кость» для одного цикла сердечного сокращения. Твёрдотельное моделирование осуществлялось методом конечных элементов (Abaqus/CAE) с получением десяти промежуточных фаз цикла «систола — диастолы» работы створчатого аппарата протеза с учетом подвижности его элементов. Полученные таким образом десять моделей включали в численный расчет методом PISO (Pressure-Implicit with Splitting of Operators) в программном комплексе OpenFoam в качестве граничных условий тока крови (с учетом фазы сердечного сокращения и временной вязкости).

В результате исследования показано наличие участков образования вихревых зон в промежуточных состояниях створчатого аппарата протеза (полузакрытия). Однако количественные данные (скорость потока, вязкое напряжение и напряжение Рейнольдса, а также число Рейнольдса для данных) имели значения ниже критических (0.1–0.3 м/с, 74 МПа, 33 МПа и 115–423 соответственно). Также показана асимметричная подвижность элементов биопротеза (прежде всего, комиссуральных стоек), ассоциированная с нагрузками и перемещениями тканей, к которым пришит протез — корню аорты и его фиброзному кольцу клапана.

1.34. Козлова С.В., Вяткин А.С. Об отрицательных главных коэффициентах диффузии тройных смесей

В работе выполнен анализ экспериментальных данных, полученных в серии экспериментов DCMIX на Международной космической станции и в ходе наземной подготовки космических экспериментов, проводимой в Свободном университете Брюсселя. В отличие от бинарных смесей, для тройных смесей измеряются 4 коэффициента (матрица 2×2). Задачей исследования являлся анализ зависимости коэффициентов диффузии тройных смесей от систем отсчета, в которых они могут быть представлены. Основное внимание было уделено смесям «додекан — изобутилбензол — тетрагидронафталин» (проект DCMIX1, 2011 г.) и «вода — этанол — триэтиленгликоль» (проект DCMIX3, 2013 г.). Для указанных смесей выполнено преобразование коэффициентов диффузии, которые измерены экспериментально в системе отсчета, связанной со средней объемной скоростью, в другие системы отсчета. До настоящего времени систематических исследований в данном направлении в литературе описано не было в связи с ограниченностью экспериментальных данных для многокомпонентных смесей.

Исследование показало, что зависимость коэффициентов диффузии от системы отсчета незначительна для идеальных систем и весьма значительна для неидеальных систем. Кроме того, были получены отрицательные главные коэффициенты диффузии в среднемолярной системе отсчета. По сей день в литературе не зафиксировано экспериментальных

измерений отрицательных главных коэффициентов. Был поднят вопрос о физической основе данного явления и проведен анализ экспериментальных значений коэффициентов перекрестной диффузии.

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

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

1.35. Козлова С.В., Вяткин А.С., Меркулов М.В. Анализ температурной зависимости коэффициента Соре в бинарных и тройных смесях

Исследование посвящено развитию теоретической методики определения коэффициента Соре в бинарных и тройных смесях [1–3]. Данная методика позволит определять температурную зависимость коэффициентов Соре из одного эксперимента с достаточно большой приложенной разностью температур. Суть метода состоит в построении пространственных кривых вида $\{T, C(T), S(T, C)\}$ из экспериментальных данных. Здесь $T = T(z)$ — пространственная зависимость температуры, зарегистрированная с помощью цифровой оптической интерферометрии в плоской ячейке Соре для различных значений начальной (средней) температуры и начальной концентрации. Зависимость $C = C(T)$ аппроксимируется аналитической кривой, вдоль которой определяются соответствующие значения коэффициента Соре S . При наличии достаточно большого объема пространственных кривых $\{T, C(T), S(T, C)\}$ может быть восстановлена форма поверхности $S = S(T, C)$. В настоящий момент в Свободном университете Брюсселя (Бельгия) получены новые экспериментальные данные для бинарных и тройных смесей. Серия замеров была проведена для смеси «этанол — вода» в ячейке Соре высотой $H = 6$ мм для различных разностей температур между верхом и низом, а также для различных средних температур. Космические эксперименты проводились с помощью аппаратуры SODI (инструмент оптической диагностики), размещенной в европейском модуле Columbus на МКС.

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

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

Список литературы

- [1] KÖNIGER A. ET AL. Measurement of the Soret, diffusion, and thermal diffusion coefficients of three binary organic benchmark mixtures and of ethanol-water mixtures using a beam deflection technique // *Philos. Mag.* 2009. Vol. 89. N. 10. P. 907–923.
- [2] MIALDUN A. ET AL. Contribution to the benchmark for ternary mixtures: Measurement of the Soret, diffusion and thermodiffusion coefficients in the ternary mixture

THN/IBB/nC12 with 0.8/0.1/0.1 mass fractions in ground and orbital laboratories // *Eur. Phys. J. E.* 2015. Vol. 38(4). N. 27 P. 535–540.

- [3] КНЛЫВОВ О. ET AL. Contribution to the benchmark for ternary mixtures: Measurement of diffusion and Soret coefficients in 1,2,3,4-tetrahydronaphthalene, isobutylbenzene, and dodecane onboard the ISS // *Eur. Phys. J. E.* 2015. Vol. 38. N. 29.

1.36. Колосов Г.Л., Панина А.В., Семенов А.Н., Яцких А.А. Численное моделирование трехмерного сверхзвукового пограничного слоя на скользящем крыле

В работе проведена попытка применения прямого численного моделирования для расчета среднего течения внутри пограничного слоя скользящего крыла с дозвуковой затупленной передней кромкой и углом скольжения 72 градуса при числах Маха 2 и 2.5 и единичных числах Рейнольдса от 6 до 10^6 m^{-1} . Расчет производился с помощью программного комплекса ANSYS Fluent, решались полные уравнения Навье — Стокса. Использовалась тетраэдральная неструктурированная сетка со сгущением к поверхности крыла, передней и задней кромкам. На пограничный слой приходилось от 35 до 65 точек вдоль нормали к поверхности крыла. Задача решалась в «box» с параметрами набегающего потока на передней и верхней стенках: число Маха 2, 2.5; статическая температура 168 К; статическое давление варьировалось в зависимости от единичного числа Рейнольдса. На боковых стенках ставилось условие зануления возмущений. На задней стенке реализовывались условия выхода. На нижних областях вне крыла ставились условия симметрии. Также на модели крыла ставились условия теплоизолированной стенки.

В результате расчета были получены распределения трех компонент скорости, давления, температуры и плотности. Полученные распределения могут быть использованы для расчета устойчивости течения при помощи eN метода с целью определения положения ламинарно-турбулентного перехода и сравнения с экспериментальными данными.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант № МК-2491.2019.1).

1.37. Колотилов В.А., Остапенко В.В. Развитие схемы Кабаре, аппроксимирующей полную газодинамическую систему законов сохранения

Разностные схемы для системы уравнений газовой динамики имеют богатую историю [1]. Одной из таких схем является балансно-характеристическая схема Кабаре, которая имеет второй порядок аппроксимации на гладких решениях, является явной и условно устойчивой при числах Куранта $r \in (0, 1]$. В настоящий момент существует обобщение схемы Кабаре на одномерные

задачи газовой динамики, рассмотренное в работе [2], однако оно не исследовано на сохранение монотонности разностного решения.

В настоящей работе рассмотрена коррекция потоковых переменных для обеспечения сохранения монотонности разностного решения относительно инвариантов линейного приближения аппроксимирующей системы. Исследовано влияние коррекций для схемы Кабаре, предложенных в работе [3], с целью снижения осцилляций базовой схемы без потери текущих качеств схемы. В качестве примера рассмотрена монотонная аппроксимация задача газодинамики в эйлеровых переменных с начальными условиями для ударной трубы.

Список литературы

- [1] Самарский А. А., Попов Ю. П. Разностные методы решения задач газовой динамики / М.: Наука, 1992. 424 с.
- [2] Головизнин В. М., Зайцев М. А., Карабасов С. А., Короткин И. А. Новые алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных комплексов / М.: Издательство Московского университета, 2013. 472 с.
- [3] Ковыркина О. А., Остапенко В. В. О монотонности схемы КАБАРЕ, аппроксимирующей гиперболическое уравнение со знакопеременным характеристическим полем // Ж. вычисл. матем. и матем. физики. 2016. Т. 56. № 5. С. 796–815.

1.38. Коноплева В.С., Пененко А.В., Мукатова Ж.С. Вычисление оптимальных параметров усвоения данных для моделей адвекции-диффузии

В данной работе рассмотрена задача усвоения данных значений функции состояния для модели адвекции-диффузии. Усвоение данных осуществлялось за счет выбора функции неопределенности, имеющей смысл источников выбросов. Ранее был представлен прямой алгоритм решения задачи вариационного усвоения данных контактных измерений со стабилизатором в целевом функционале, регулирующим норму функции неопределенности и её пространственной производной [1]. Параметры усвоения данных разыскиваются на основе минимизации функционала ошибки для набора сценариев с известными решениями, аналогично [2]. Найденные значения применяются в сценарии с неизвестными источниками примесей (контрольный эксперимент). По решению тестовой задачи приводятся результаты численных экспериментов.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 17-01-00137).

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

Список литературы

- [1] Пененко А. В., Мукатова Ж. С., Пененко В. В., Гочаков А. В., Антохин П. Н. Численное исследование прямого вариационного алгоритма усвоения данных в городских условиях // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. № 06. С. 456–462.

- [2] Антохин П., Пененко А., Антохина О. Алгоритм восстановления вертикального распределения мощностей источников и стоков субстанции в пограничном слое атмосферы // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. С. 49–56.

1.39. Крайнева М.В., Голубева Е.Н., Платов Г.А. Изучение особенностей термического режима моря Лаптевых в 2006-2007 гг на основе численного моделирования

Море Лаптевых является одним из самых суровых арктических морей. Природные процессы в нем дают начало многим аномалиям, определяющим погодные и ледовые условия на трассе Северного морского пути. Как и во всей Арктике в последние годы здесь отмечаются значительные климатические изменения. Данные измерений показывают потепление придонного слоя воды в шельфовой зоне Восточной Сибири [1, 2].

В данной работе исследованы особенности формирования температурных характеристик шельфовой зоны моря Лаптевых в течение 2006-2008 гг. Для исследования используется комплекс вложенных моделей, разработанных в ИВМиМГ СО РАН. Комплекс включает крупномасштабную модель SibCIOM и встроенную мелкомасштабную модель SibPOM. Для формирования потоков тепла, соли и импульса на поверхности моря используются данные атмосферного реанализа CORE-II [3]. Анализ численных результатов направлен на выяснение возможных причин формирования температурных аномалий в придонном слое моря. Данные моделирования показывают, что циркуляция вод в значительной степени определяется полем ветра в безледный период. Значительные различия получены для расчетных полей 2006 и 2007 годов. Анализ данных моделирования показал, что формирующаяся под влиянием поля давления циркуляция вод может приводить к интенсивному поступлению тепла из поверхностного слоя в придонные слои моря.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-05-00382) и программы президиума РАН № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования», с использованием ресурсов ЦКП Сибирский Суперкомпьютерный Центр ИВМиМГ СО РАН.

Список литературы

- [1] DMITRENKO I., KIRILLOV S., TREMBLAY B. ET AL. Recent changes in shelf hydrography in the Siberian Arctic: Potential for subsea permafrost instability // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2011. Vol. 116. P. C10027.
- [2] JANOUT M., HÖLEMANN J., JUHL S. ET AL. Episodic warming of near-bottom waters under the Arctic sea ice on the central Laptev Sea shelf // Geophysical Research Letters. 2016. Vol. 43. N. 1. P. 264–272.
- [3] LARGE W. G., YEAGER S. G. Diurnal to decadal global forcing for ocean and sea-ice models: The data sets and

flux climatologies, NCAR Technical note // National Center for Atmospheric Research. 2004. Vol. 11. P. 324–336.

1.40. Кром А.И. Математическое моделирование ионной проводимости в нанопористых мембранах

Мембранное разделение играет важную роль во многих процессах, возникающих в таких областях промышленности, как химическая, топливная, фармацевтическая и пищевая. При разделении различных растворов и смесей с помощью ультра- и нанофильтрации, а также электродиализа, возникает перенос ионов через нанопоры мембраны. Одним из современных направлений в данной области науки является разработка и изучение мембран, способных менять свои свойства в зависимости от внешнего воздействия. В случае проводящей поверхности пор таким воздействием может быть электрическое поле.

Цель данной работы заключается в построении одномерной модели для расчета ионной проводимости мембраны при заданной разности потенциалов и сравнении результатов расчетов с полученными ранее с помощью двумерной модели пространственного заряда (см. [1]).

Математическая модель основана на уравнениях Навье – Стокса, Нернста – Планка и Пуассона. Рассматривается перенос ионов через нанопору мембраны длины L , причем её радиус R удовлетворяет неравенству $R < \lambda$, где λ – длина Дебая. В этом случае распределения потенциала, концентраций ионов и давления в поперечном сечении поры можно считать однородными. Эти величины зависят только от расстояния вдоль поры. В этом случае уравнения значительно упрощаются и представляются в виде формализма «сила – поток» [2]. В итоге была получена краевая задача для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Численный метод её решения был реализован на языке C++.

Было проведено сравнение одномерной и двумерной моделей. Для малых радиусов нанопоры наблюдалось достаточно точное совпадение кривых проводимости и потоков ионов. При увеличении радиуса поры различие между одномерной и двумерной моделями увеличивалось вследствие менее плотного перекрытия двойных электрических слоёв. Стоит отметить также, что на точность данных, получаемых с помощью одномерной модели, можно влиять, выбирая различные значения ёмкости слоя Стерна C_s (см. [3]). Так, для $R = 1.5$ нм наилучшее совпадение с двумерной моделью было получено при $C_s = 2 \text{ Ф/м}^2$, в то время как для $R = 10$ нм более точный результат был достигнут при $C_s = 0.5 \text{ Ф/м}^2$.

Таким образом, применение одномерной модели в случае, когда радиус поры меньше или сравним

с длиной Дебая является обоснованным и позволяет производить вычисления существенно быстрее по сравнению с двумерной моделью.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта № 18-48-242011.

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

Список литературы

- [1] RYZHKOV I., LEBEDEV D., SOLODOVNICHENKO V. ET AL. On the origin of membrane potential in membranes with polarizable nanopores // Journal of membrane science. 2018. Vol. 549. P. 616–630.
- [2] PETERS P., ROIJ R., BAZANT M. ET AL. Analysis of electrolyte transport through charged nanopores // Physical review E. 2016. Vol. 93. N. 5. P. 053108.
- [3] ZHANG L., BIESHEUVEL P. M., RYZHKOV I. I. Theory of ion and water transport in electron-conducting membrane pores with pH-dependent chemical charge // Physical Review Applied. 2019. Vol. 12. P. 014039.

1.41. Кутлицева А.Ю. Гетерогенный многомасштабный метод конечных элементов для численного моделирования геометрически нелинейной деформации твердых тел

Численное моделирование процесса деформации твердых тел широко востребовано при решении различных прикладных и фундаментальных задач, например, проектирование и исследование эффективных свойств новых материалов. Для этого требуются специальные численные методы, поскольку классические подходы не могут быть применены для решения задач в многомасштабных средах, к которым, как правило, относятся композиционные материалы.

Одним из таких методов является гетерогенный многомасштабный метод конечных элементов, разработанный для решения эллиптической краевой задачи в гетерогенных средах. Основной идеей является разделение пространства решений на сумму двух и более подпространств по числу физических или геометрических масштабов. Каждое из пространств отвечает за точный учет физико-геометрических одного из уровней получаемой иерархии масштабов. Реализуется данный подход через введение иерархических конечноэлементных сеток. Например, для двухуровневого метода строится грубая макроэлементная сетка, без учета внутренней структуры, после чего на каждом из макроэлементов формируется адаптивная микроэлементная сетка. На основе сеточных структур вычисляются функции формы, определяющие иерархию функциональных подпространств.

Таким образом исходная задача большой размерности (с точки зрения размеров дискретизации) может быть «разбита» на меньшие подзадачи, каждая из которых решается независимо. В дальнейшем метод был адаптирован для ряда нелинейных задач,

а также расширен до использования конечных носителей произвольной формы — полиэдров, что обеспечило расширение возможности применимости метода для объектов с более сложными внутренними и внешними границами.

В рамках данной работы предлагается модификация гетерогенного многомасштабного метода конечных элементов для решения геометрически нелинейной задачи деформации в гетерогенных трехмерных объектах.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФНИ (проект № 0266-2019-0007).

1.42. Кучунова Е.В., Вяткин А.В. Параллельная реализация полулагранжевого метода для численного решения уравнений Навье — Стокса для вязкого теплопроводного газа

В работе представлена параллельная реализация алгоритма численного решения уравнений Навье — Стокса, описывающих трехмерное течение вязкого теплопроводного газа в области $\Omega \subset R^3$:

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \nabla \mathbf{U} = 0, \quad (1)$$

$$\rho \frac{d\mathbf{U}}{dt} = -\nabla P + \nabla \Pi_{i,j}, \quad (2)$$

$$\rho \frac{de}{dt} = -P \nabla \mathbf{U} - \nabla \mathbf{q} + \Phi. \quad (3)$$

ρ — плотность среды, \mathbf{U} — скорость, e — внутренняя энергия, P — давление, $\Pi_{i,j}$ — тензор напряжений, \mathbf{q} — тепловой поток, Φ — диссипативная функция.

В работе для аппроксимации полной (субстанциональной или лагранжевой) производной по времени в каждом уравнении системы (1)–(3) используется полулагранжевый метод [1, 2], который заключается в аппроксимации полной производной с помощью разностной производной назад по времени вдоль траектории движения частицы. Дискретизация по пространству остальных слагаемых уравнений Навье — Стокса на каждом временном слое проводится методом конечных элементов с кусочно-трилинейными базисными функциями и применением квадратурных формул [3].

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 [4]. 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.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта «Численное моделирование формирования квазиустойчивых фигур, образованных многокомпонентной газовой смесью, вытекающей из промышленной дымовой трубы».

Список литературы

- [1] VYATKIN A., KUCHUNOVA E. Conservative Semi-Lagrangian Numerical Algorithm with Decomposition of Integration Domain into Tetrahedrons for Three-Dimensional Advection Problem // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2019. Vol. 11386. P. 621–629.
- [2] SHAYDUROV V., VYATKIN A., KUCHUNOVA E. Semi-Lagrangian difference approximations with different stability requirements // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2018. Vol. 33 (2). P. 123–135.
- [3] SHAYDUROV V., LIU T., SHCHERANOVSKAYA G., YAKUBOVICH M. A semi-Lagrangian approximation in the Navier-Stokes equations for the gas flow around a wedge // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2015. Vol. 1684. P. 090011.
- [4] Вяткин А. В., Кучунова Е. В. Параллельная реализация полулагранжевого метода для уравнения неразрывности // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. № 2 (14). С. 423–429.

1.43. Куянова Ю.О., Дубовой А.В., Паршин Д.В. Численное моделирование применительно к оптимизации церебральных анастомозов

Сосудистый анастомоз или байпас — это соединение обычно раздельных ветвей сосудов с целью их взаимодействия. Данная техника получила широкое распространение при лечении церебральных аневризм, когда нейрохирургу приходится вместе с аномалией перекрывать жизненно необходимые части артерии. Цель применения анастомоза — компенсация кровотока из перекрытого сосуда. Тем не менее, в некоторых случаях формирования анастомоза не только можно избежать, но его установка может вызвать ряд осложнений после операции. Поэтому открытым остаётся вопрос о необходимости формирования байпаса в том или ином случае.

В данной работе мы рассматриваем 2 принципиально различных клинических исхода при формировании близких по топологии обходных анастомоза.

В первом случае после формирования анастомоза осложнений не возникло. По итогу второй операции вблизи места установки анастомоза в образовавшейся застойной зоне сформировался тромб, что потребовало проведения срочной повторной операции. С помощью программы ITK-Snap была восстановлена геометрия сосудов до и после операции в каждом рассмотренном клиническом случае [1]. Кроме того, мы проанализировали подход, описанный в работе [2], и выяснили, что гидравлический критерий не охватывает все возможные случаи формирования анастомоза и, следовательно, не применим для предоперационной оценки качества байпаса.

Численные расчёты с односторонней гидроупругостью и расчёты в конфигурациях с жёсткими стенками были реализованы в пакете ANSYS/CFX в каждой из восстановленных моделей, включая модели альтернативного лечения без сформированного анастомоза. Также была построена конфигурация альтернативного лечения, когда после перекрытия внутренней сонной артерии анастомоз не был сформирован. В качестве входных данных в задаче используются литературные данные о массовом расходе в церебральных сосудах [3]. В результате исследования удалось воспроизвести реальную постоперационную картину течения крови и изменение геометрии сосудов после операции. Также было осуществлено сравнение гемодинамических параметров кровотока для двух рассматриваемых клинических случаев.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта АААА-А17-117021650052-2.

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

Список литературы

- [1] PARSHIN D. V., KUIANOVA I. O., YUNOSHEV A. S., OVSYANNIKOV K. S. On the mechanics of cerebral aneurysms: experimental research and numerical simulation // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 894. P. 012071.
- [2] MATSUKAWA H., MIYATA S., TSUBOI T. ET AL. Rationale for graft selection in patients with complex internal carotid artery aneurysms treated with extracranial to intracranial high-flow bypass and therapeutic internal carotid artery occlusion // Journal of neurosurgery. 2018. Vol. 128. N. 6. P. 1753–1761.
- [3] ZARRINKOOB L., AMBARKI K., WANLIN A. ET AL. Blood flow distribution in cerebral arteries // Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism. 2015. Vol. 35. P. 648-654.

1.44. *Лещинский Д.В., Данилкин Е.А., Старченко А.В. Численное решение уравнения переноса на вычислительной системе с общей памятью*

В работе рассматривается сравнение двух технологий параллельного программирования MPI и OpenMP на примере численного решения трехмерного уравнения переноса. Уравнение переноса

является одним из фундаментальных в математической физике. Оно составляет основу для описания множества физических явлений и процессов, также оно используется для разработки и тестирования новых численных методов и разностных схем. Зачастую, важность решаемых задач требует высокой скорости получения решения, такую возможность дает использование многопроцессорной и многоядерной техники.

Целью данной работы является проведение вычислительных экспериментов на вычислительной системе с общей памятью по определению наиболее эффективной технологии построения параллельной программы (MPI, OpenMP) для решения трехмерного уравнения переноса.

При построении численного алгоритма используются структурированные сетки с равномерным шагом по горизонтальным направлениям и сгущающиеся к поверхности Земли по вертикальному. При аппроксимации дифференциальной постановки задачи используется метод конечного объема со вторым порядком аппроксимации по пространственным переменным. Для обеспечения второго порядка точности по времени используются явно-неявные аппроксимации во времени (Адамса — Бэшфорда и Кранка — Никольсон). Полученная разностная схема является экономичной и для вычисления значений сеточной функции позволяет использовать метод прогонки вдоль вертикальных сеточных линий [1].

Для проведения численных экспериментов используется система с общей памятью, а именно один двухпроцессорный вычислительный узел кластера ТГУ Cyberia. Библиотека OpenMP используется для автоматического распараллеливания и рассчитана на системы с общей памятью. Параллельная программа получается вставкой в последовательную версию программы соответствующих директив OpenMP. Циклы распараллеливаются автоматически, в случае необходимости обмена между порождаемыми потоками осуществляются через общую память (общие переменные).

Библиотека MPI — это средство передачи сообщений между параллельными процессами на системах с распределенной памятью. Однако функции библиотеки MPI реализованы и для систем с общей памятью. Это дает возможность провести сравнение параллельных MPI и OpenMP реализаций в равных условиях (на одной вычислительной системе). При применении MPI технологии в качестве основного подхода распараллеливания выбрана двумерная декомпозиция сеточной области на под-области. При разработке параллельной программы дополнительно используются ряд функций MPI для создания и тестирования двумерной декартовой логической топологии, создания новых типов данных для обеспечения эффективной пересылки между процессорами, а также функции MPI_Send()

и MPI_Recv() для проведения парных неблокирующих пересылок значений сеточной функции в соседних подобластях декомпозиции.

Проведенные на вычислительном кластере ТГУ Cyberia расчеты показали достаточно высокую эффективность распараллеливания вычислительного алгоритма с использованием MPI. OpenMP программа уступает MPI программе в ускорении.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 19-71-20042).

Список литературы

- [1] STARSHENKO A. V., BART A. A., BOGOSLOVSKIY N. N. ET AL. Mathematical modelling of atmospheric processes above an industrial centre // Proc. 20th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2014. Vol. 9292. P. 929249-1-30.

1.45. Майлин М.В. Разработка математической модели прироста цетанового числа в зависимости от углеводородного состава с применением квантово-химических расчетов

Целью данной работы стала разработка математической модели прогнозирования прироста цетанового числа в зависимости от группового состава дизельного топлива, концентрации цетаноповышающей присадки с учетом силы межмолекулярных взаимодействий компонентов смеси. Для оценки межмолекулярных взаимодействий компонентов дизельных топливных композиций (углеводородов с цетаноповышающей присадкой) использовали квантово-химические расчеты. Расчеты проводили с использованием программного продукта Gaussian, при условиях двигателя: температура — 2000° С, давление — 5.0 МПа. Модели веществ, участвующих в реакциях, были построены в программе GaussView. В качестве метода расчета выбран метод теории функционала плотности DFT. Преимуществом данного метода перед другими методами является то, что модели DFT учитывают эффект электронной корреляции, т. е. тот факт, что электроны в молекуле отталкиваются в результате взаимодействия. Метод теории функционала плотности обладает достаточной точностью для расчета углеводородов дизельной фракции [1–3]. Теоретическим приближением являлась модель V3LYP (теория функционала плотности Беке (V3), использующая электронную корреляцию Ли Янга и Пара (LYP)) [4]. Поскольку основным показателем качества дизельных топлив является групповой состав, на основании данных о содержании различных углеводородов, энергии межмолекулярного взаимодействия углеводородов с присадкой, термодинамической вероятности образования углеводородных радикалов, а также экспериментальных исследований по изменению цетанового числа дизельных фракций в зависимости от концентрации цетаноповыша-

ющей присадки, была разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать прирост цетанового числа дизельной фракции. Для всех образцов дизельных фракций прирост цетанового числа, рассчитанный с использованием разработанной модели, отличается от экспериментально определенного на величину, не превышающую 1 пункт, что позволяет прогнозировать прирост цетанового числа в зависимости от количества вовлекаемой цетаноповышающей присадки для дизельных топлив различного углеводородного состава. Это актуально для нефтеперерабатывающих заводов, на переработку которых поступает нефть разных месторождений и с постоянно меняющимся углеводородным составом.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (Проект № 18-79-00095) в Национальном исследовательском Томском политехническом университете в рамках Программы повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Список литературы

- [1] КРАВЦОВ А. В., ИВАНЧИНА Э. Д., ИВАШКИНА Е. Н. и др. Термодинамическая устойчивость коксогенных соединений, образующихся на поверхности платиносодержащих катализаторов дегидрирования, при окислении их водой // Нефтехимия. 2013. Т. 53. № 4. С. 302–312.
- [2] БУРШТЕЙН К. Я., БУРЫГИН П. П. Квантово-химические расчеты в органической химии и молекулярной спектроскопии / М.: Наука, 1989. 104 с.
- [3] ГЕРЗЕЛИЕВ И. М., ГЮЛЬМАЛИЕВ А. М., ПОПОВ Ю. С., ХАДЖИЕВ С. Н. Термодинамическое и квантово-химическое исследование реакции окислительного дегидрирования этана в этилен // Нефтехимия. 2015. Т. 55. № 2. С. 154–162.
- [4] КЛАРК Т. Компьютерная химия / М.: Мир, 1990. 383 с.

1.46. Марзаева В.И. Математическое моделирование крупномасштабных лесных пожаров.

С помощью математического моделирования изучен процесс возникновения и распространения крупномасштабных верховых лесных пожаров. Актуальность изучения данной задачи объясняется огромным ущербом, который наносится лесными пожарами ежегодно. Лесные пожары мощнейшим образом влияют на происходящие на планете глобальные изменения окружающей среды. Следы этого катастрофического явления можно найти на каждом континенте. В частности, на территории Российской Федерации крупные лесные пожары ежегодно уничтожают до 8.5 млн. га., экономический ущерб от 20-25.2 млрд. руб.

Математически данная задача сведена к решению уравнения Рейнольдса для турбулентного течения

с учетом химических реакций. Для получения дискретного аналога использован метод контрольного объема.

С помощью численных расчетов получены распределения полей скорости, температуры, концентраций кислорода, летучих продуктов пиролиза, горения и объемных долей конденсированной фазы. Модель позволила в динамике получить контуры распространения верховых лесных пожаров, которые зависят от запаса и вида лесных горючих материалов, влагосодержания, скорости ветра и т. д.

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

1.47. Маркидонов А.В. Компьютерное моделирование процесса роста зерен под воздействием ударных волн

Границы зерен играют важную роль при изучении радиационно-стимулированных явлений, так как образующиеся при облучении дефекты мигрируют к ним как к естественным стокам, и образуют примесные сегрегации, закрепляющие дислокации, повышая тем самым предел текучести материала. При этом рост зерен, основным механизмом которого является миграция границ, может негативно сказываться на механических свойствах материалов. Имеются экспериментальные подтверждения миграции границ зерен при облучении твердых тел ускоренными частицами [1], но механизмы этого явления, предлагаемые исследователями, различны.

Ранее нами был проведен цикл работ, посвященных структурным изменениям, происходящих в ГЦК-кристалле под воздействием ударных волн [2, 3]. В этой работе исследовался процесс миграции границы зерен при генерации в кристалле ударной волны. Была построена молекулярно-динамическая модель поликристалла с ГЦК-решеткой, содержащего границу зерен кручения [4]. Для описания межчастичного взаимодействия использовался потенциал, рассчитанный в рамках метода погруженного атома. В ходе проведения моделирования были предложены следующие возможные механизмы миграции границы. При малых углах разориентации миграция осуществляется за счет согласованного смещения атомов вокруг ядер зернограницных дислокаций. При большеугловых границах доминирующим механизмом миграции становится локальная аморфизация структуры, возникающая при прохождении ударной волны по зернограницной области, с последующей повторной кристаллизацией на втором зерне.

Список литературы

[1] DEY S., MARDINLY J., WANG Y. ET AL. Irradiation-induced grain growth and defect evolution in nanocrystalline zirconia with doped grain boundaries // Physical Chemistry Chemical Physics. 2016. V. 18. N. 18. P.16921–16929.

[2] Маркидонов А. В., Старостенков М. Д. Радиационно-динамические процессы в ГЦК кристаллах, сопровождающиеся высокоскоростным массопереносом / Барнаул: ООО «Научно-исследовательский центр «Системы управления», 2014. 192 с.

[3] Маркидонов А. В., Захаров П. В., Старостенков М. Д., Медведев Н. Н. Механизмы кооперативного поведения атомов в кристаллах / Новокузнецк: филиал КузГТУ в г.Новокузнецке, 2016. 219 с.

[4] Маркидонов А. В., Старостенков М. Д., Гришунин В. А., Бащенко Л. П. Атомные механизмы миграции границы зерен кручения (110) под воздействием ударных послекаскадных волн на примере никеля // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2017. Т. 14. № 4. С. 528–534.

1.48. Марков С.И., Итжина Н.Б. Сравнительный анализ вариационных формулировок многомасштабного разрывного метода Галёркина для моделирования процесса конвективного теплообмена с фазовыми переходами

Исследование тепловых процессов в средах с фазовыми переходами является актуальной прикладной задачей при создании фазоизменяющих материалов, исследовании месторождений газовых гидратов и мониторинге состояния криолитозоны в зависимости от разных типов техногенных и природных воздействий. Один из этапов решения обозначенных задач — математическое моделирование процесса переноса тепла в средах с фазовыми превращениями. Сложность математического моделирования такого физического процесса связана с наличием подвижной границы фазового перехода. Данная особенность предъявляет жёсткие требования к вычислительной схеме, которая должна быть легко адаптируемой под специфику задачи.

В работе рассматривается задача о конвективном переносе тепла в многомасштабной гетерогенной среде с фазовыми переходами. Исследуются два фазовых состояния среды: лёд и вода. Математическая модель процесса конвективного теплообмена с фазовыми превращениями описывается задачей Стефана. Для дискретизации используются вычислительные схемы многомасштабного разрывного метода Галёркина в трёхмерной постановке на тетраэдральных сетках с иерархическим базисом. Предлагается декомпозиция решения на двух функциональных пространствах: непрерывное в твёрдой и жидкой фазах и разрывное в зоне фазового перехода. Многомасштабный разрывный метод Галёркина относится к семейству неконформных конечно-элементных методов и позволяет использовать несогласованные сетки для решения задач с подвижной границей. Локальная консервативность данных вычислительных схем позволяет получить физически релевантное решение сингулярно-возмущённых задач. Особый интерес представляет проблема согла-

сования конечно-элементного интерполянта на интерфейсной границе. Приводится сравнительный анализ разных вариационных формулировок с авторскими схемами лифтинг-операторов, особенности их реализации и сравнение с данными физических экспериментов.

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ № 0266-2019-0007 «Создание единой математической, алгоритмической и программной структуры, обеспечивающей принятие дискриминирующих технологических решений при проектировании современной измерительной аппаратуры для геофизических, биологических инженерных приложений».

1.49. Митин К.А., Митина А.В., Бердников В.С. Влияние равномерного вращения на радиационно-конвективную теплоотдачу, поля температуры и термических напряжений в кристалле кремния

Структурное совершенство монокристаллов, получаемых вытягиванием из расплавов методом Чохральского, зависит от формы фронта кристаллизации и нестационарных полей температуры в процессе роста кристалла. В реальном высокотемпературном технологическом процессе важны особенности теплоотдачи от кристалла в окружающую среду. Теплообмен имеет сложный сопряженный характер и поля температуры самосогласованны во всей ростовой камере. Управление тепловыми условиями роста кристалла является достаточно сложной задачей, так как нелинейность задач конвективного и сопряженного радиационно-конвективного теплообмена между кристаллом, расплавом и окружающей средой приводит к необходимости их решения при большом количестве промежуточных геометрий расчетных областей по мере роста кристалла. В рамках глобального моделирования задачи должны решаться в полной сопряженной постановке, которая требует практически невозможного точного задания граничных условий, соответствующих реальному процессу, и больших вычислительных и временных ресурсов. Поэтому для понимания общих закономерностей зависимости полей температуры в кристаллах от интенсивности теплоотдачи с их образующих и соответствующих термических напряжений можно решать задачи в рамках частичного моделирования.

Численно, методом конечных элементов, исследован сопряженный теплообмен в различных режимах теплоотдачи в системе «кристалл — окружающая среда — стенки ростовой камеры», геометрически подобной упрощенной схеме верхней части теплового узла в методе Чохральского. Решались системы уравнений термогравитационной и смешанной конвекции в переменных вихрь, функция тока и температура. В режимах смешанной конвекции учтено равномерное вращение кристаллов. Расчеты прове-

дены для кристаллов различной длины при конвективной и радиационно-конвективной теплоотдаче. Расчеты радиационных потоков проведены на основе зонального метода при следующих предположениях: расчетная область ограничена замкнутой системой поверхностей; все поверхности системы — серые, диффузно-излучающие и диффузно-отражающие; поверхности разбиты на зоны, в пределах которых радиационные свойства и температура могут считаться постоянными; среда, заполняющая ростовую камеру — диатермична.

Расчеты выполнены при числе Прандтля равно 0.68 (аргон) и числе Грасгофа 16000, характерном для реального технологического процесса. Изучена относительная роль и совместное влияние конвективного и радиационного механизмов теплообмена при равномерном вращении кристалла.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТ СО РАН (П.18.2.5, Гос. Рег. АААА-А17-117022850021-3).

1.50. Михальченко Е.В. Моделирование перспективных детонационных двигательных устройств

В течение длительного времени развитие в области двигательных установок велось путем усовершенствования конструкций ракетных и реактивных двигателей. Создание конкурентоспособных двигателей нового поколения и получение оптимальных показателей возможно при применении принципиально новых технических решений. На основании разработанного программного кода было проведено детальное трехмерное моделирование с учетом многокомпонентности смеси явлений переноса, турбулентности, а также детализированной химической кинетики камеры сгорания двигателя с вращающейся детонационной волной — принципиально нового типа двигателей, способных создавать более высокую тягу, чем традиционные, основанные на процессе дефлаграции горючей смеси. В качестве топлива использовалась водородно-воздушная смесь. Для данной смеси было рассмотрено шесть кинетических механизмов: Maas — Warnatz — Pope (1992), Hong (2010), Williams (2004), Gri — Mech 3.0 (1999), Liu — Zhou — Kazakov — Dryer (2004), NIKITIN (2015). Все рассмотренные кинетические механизмы содержат 9 компонент, количество реакций в них варьируется от 20 до 29. Для аппроксимации модели использовались методы высокого порядка точности. Верификация данных методов проводилась на ряде одномерных и двумерных тестовых задач. Была проведена валидация программы путем сравнения с данными экспериментов в ударной трубе. Формирование устойчивой детонационной волны изучалось в зависимости от различных факторов: внутреннего диаметра корпуса, количества и диаметра форсунок, давления в отверстиях для топлива и окислителя. Для рассмотрен-

ных вариантов были посчитаны тяговые характеристики, такие как удельный импульс и удельная тяга. Программный код распараллелен с помощью технологий OpenMP и MPI. Тестовые расчеты проводились на отечественном вычислительном комплексе АПК-5. Так же был отлажен блок химической кинетики для углеводородного топлива. Использовался кинетический механизм с участием 38 компонент и 230 элементарных обратимых реакций.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-07-00889А).

1.51. Морозова А.С. Математическое моделирование процесса высвобождения и доставки активного вещества лекарственной системы пролонгированного действия

Пролонгированные лекарственные формы, в которых лекарственное вещество растворено или диспергировано в массе носителя или защищено оболочкой, представляют большой интерес для современной фармацевтики, поскольку позволяют осуществлять контроль над процессом высвобождения и доставки активного (лекарственного) вещества в соответствии с реальной потребностью живого организма. В качестве носителя и оболочки чаще всего используют полимеры, для которых механизмы высвобождения лекарственного вещества обычно напрямую связаны с диффузией, растворением и поверхностным или объёмным разрушением матрицы-носителя.

В качестве примера рассмотрено высвобождение гентамицина в матрице полимолочной кислоты [1], для которой свойственно объёмное разрушение. Известно, что скорость высвобождения активного вещества при объёмном разрушении носителя может резко изменяться. Кроме того, для полимерной матрицы характерно наличие «взрывных эффектов» при высвобождении в связи с разрушением матрицы на части еще до полного выхода активного вещества, что наглядно видно на экспериментальных кривых зависимости доли накопленного высвобожденного лекарственного вещества от времени [1].

Для описания эксперимента разработаны четыре математические модели: модель на основе классического уравнения диффузии; модель на основе модифицированного уравнения диффузии со стоковым членом, имитирующим осаждение лекарства в матрице-носителе; двухэтапная модель, описывающая растворение частиц лекарства с последующей диффузией; модель, описывающая растворение частиц активного вещества, диффузию, а также разрушение полимерной матрицы-носителя. Получены численные решения задач с помощью метода конечных объемов.

Ключевые параметры, характеризующие кинетику высвобождения в данных моделях, такие как коэффициент диффузии матрицы, коэффициент

массоотдачи, распределение лекарственного средства в матрице, были определены путем нахождения наилучшего совпадения данных моделирования и экспериментальных данных.

Проведено исследование влияния параметров на результирующую кривую, что в дальнейшем позволит создать рекомендации по изменению каких-либо технологических аспектов эксперимента для достижения желаемого высвобождения лекарственного вещества.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Вильчевская Е. Н.

Список литературы

- [1] MACHA I. J., BEN-NISSAN B., VILCHEVSKAYA E. N. ET AL. Drug Delivery From Polymer-Based Nanopharmaceuticals — An Experimental Study Complemented by Simulations of Selected Diffusion Processes // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2019. Vol. 7(37):14.

1.52. Москалев Г.В., Соболев А.Ю. Использование многофизических моделей нефтяного пласта для оценки возможности восстановления параметров по данным высокочастотного индукционного каротажа

Разработанная в ИНГГ СО РАН система АТЛАС МФМ [1] позволяет описать нефтяной коллектор, задав физические, петрофизические и геологические параметры. Далее решаются задачи взаимосвязанного моделирования геомеханических, гидродинамических и геофизических процессов [2]. Распределение удельного электрического сопротивления (УЭС) при этом является следствием многофизических процессов, протекающих в околоскважинном пространстве в процессе и после бурения скважины. Такая система позволяет проводить численные эксперименты и опробовать подходы к обработке каротажных данных, используя «цифровой двойник» месторождения.

В АТЛАС МФМ были выбраны типичные для Западной Сибири модели нефтенасыщенных коллекторов с одинаковой нефтенасыщенностью $k_{oil} = 65\%$. Рассчитанные в системе синтетические сигналы зондов высокочастотного индукционного каротажа с добавленным гауссовым шумом разной величины обрабатывались стандартными методами интерпретации каротажных данных, путем решения обратных электродинамических задач в цилиндрически-слоистой среде оценивались значения УЭС прискважинной зоны и незатронутой части пласта с целью определить k_{oil} .

Показано, что доверительный интервал полученных таким образом оценок k_{oil} для пластов неограниченной мощности довольно широк: для типичного коллектора — 10–15%, для карбонатизированного — 20–30%, и мало зависит от аппаратного шума. Предполагается, что одна из причин такой низкой достоверности определения коэф-

фициента нефтенасыщенности состоит в используемой модельной базе интерпретации, при которой электрофизические параметры полагаются независимыми и аппроксимируются двумя-тремя слоями с кусочно-постоянным значением УЭС. Повышение достоверности оценок требует мультифизического подхода.

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0015 «Реалистичные теоретические модели и программно-методическое обеспечение геоэлектрики гетерогенных геологических сред».

Список литературы

- [1] Ельцов И. Н., Назаров Л. А., Назарова Л. А. и др. АТЛАС ГЕНМ. Свидетельство № 2018620241 о государственной регистрации базы данных. Правообладатель: ИНГГ СО РАН // Оpubл. 9.02.2018.
- [2] НЕСТЕРОВА Г., В., ЕЛЬЦОВ И. Н., СОБОЛЕВ А. Ю. База многофизических моделей пластов АТЛАС МФМ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XV Междунар. науч. конгр. Новосибирск, 2019. Т. 2. № 3. С. 63–71.

1.53. Неверов В.В. Моделирование седиментации с диффузией в двумерной ячейке

Рассматривается модель двухфазной смеси, полученная в работе [1]. Актуальность изучения моделей многофазных неньютоновских сред обусловлена большим количеством приложений в задачах гемодинамики, транспорте углеводородов и при моделировании течения полимеров.

Приводится вывод упрощенной модели, для случая когда вращением частиц и тепловыми потоками можно пренебречь. В данной модели массовая концентрация частиц удовлетворяет обобщенному закону Фика

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \operatorname{div}(c\mathbf{v}) = -\operatorname{div}\mathbf{l},$$

$$\mathbf{l} = -(\gamma_1 \nabla c + \gamma_2 \nabla p + \gamma_3 \nabla(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2)^2) + cB\mathbf{g},$$

где \mathbf{l} — поток концентрации, p — давление, \mathbf{v}_i — скорость i -й фазы, $\mathbf{v} = \rho_1 \mathbf{v}_1 + \rho_2 \mathbf{v}_2$ — скорость смеси, c — массовая концентрация частиц, \mathbf{g} — ускорение свободного падения, B — коэффициент мобильности. Показано, что такой обобщенный закон Фика согласуется с законом производства энтропии.

При помощи данной модели численно решается задача об оседании частиц в двумерной ячейке. В данной работе в уравнения импульса фаз добавляется только сила межфазного трения, причем показано, что это — единственная сила, согласованная со вторым началом термодинамики.

Задача решается методом конечных элементов (FreeFEM++) с использованием метода регуляризации. Показано, что структуры течения в вертикальной и наклонной ячейке сильно отличаются, причем в наклонной ячейке оседание происходит быстрее, что согласуется с эффектом Бойкотта [2]. Проведено исследование сходимости метода и сравнение с экспериментом из работы [3]. Показано хорошее совпадение расчета с результатами эксперимента.

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

Список литературы

- [1] SHELUKHIN V. V. Thermodynamics of two-phase granular fluids // J. Non-Newtonian Fluid Mech. 2018. Vol. 262. P. 25–37.
- [2] BOYCOTT A. E. Sedimentation of blood corpuscles // Nature. 1920. Vol. 104. P. 532.
- [3] ACRIVOS A., HERBOLZHEIMER E. Enhanced sedimentation in settling tanks with inclined walls // J. Fluid Mech. 1979. Vol. 92. P. 435–457.

1.54. Онищенко П.С., Борисов В.Г., Клышников К.Ю., Овчаренко Е.А. Моделирование гемодинамики на примере артерий нижних конечностей

Актуальность. Проблема реваскуляризации сосудистого русла нижних конечностей в следствии атеросклеротических поражений обусловлена высокой распространенностью данной патологии и отсутствием «золотого стандарта» протезов [1], применяемых при данном типе вмешательств [2]. Ксеногенные сосудистые биопротезы — это внутренние грудные артерии крупного рогатого скота с высокой вариативностью исходной геометрии. Вследствие этого, изучение гемодинамики в ксеногенных биопротезах является актуальным.

Материалы и методы. В работе проведено численное сравнение течения крови в биопротезе, соединённым с основным сосудистым руслом способом «конец-в-конец» и «конец-в-бок» с учётом частоты сокращения сердца (ЧСС) и величины артериального давления (АД). Геометрия артерии получена с использованием микрокомпьютерной томографии биопротеза, величина АД — с использованием Доплер — эхографии пациента П. (67 лет, мужчина), которому было проведено бедренно-подколенное протезирование справа биопротезом «КемАнгиопротез». Моделирование течения крови производили с использованием программного комплекса OpenFOAM [3].

Результаты. Вследствие нелинейности исходной геометрии биопротеза способ имплантации влияет на течение крови (в зонах стеноза различие в модуле скорости составило в среднем 0.2 м/с или 10 – 15% для способа имплантации «конец-в-конец» относительно «конец-в-бок» при ЧСС 60 ударов в минуту и АД 147/53 мм рт. ст.). При имплантации способом «конец-в-бок» в существующих вихревых зонах при определенных комбинациях параметров (в частности при ЧСС 60 ударов в минуту и АД 195/70 мм рт. ст.) возникают эффекты «отрыва» вихрей, что может запустить каскад значительно более опасных эффектов — тромбоз сосудистого русла.

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

Список литературы

- [1] ANTONOVA L. V., SEVOSTYANOVA V. V., MIRONOV A. V. ET AL. In situ vascular tissue remodeling using biodegradable tubular scaffolds with incorporated growth factors and chemoattractant molecules // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2018. Vol. 7. N. 2. P. 25–36.
- [2] БОКЕРИЯ Л. А. Гудкова Р. Г. Сердечно-сосудистая хирургия-2016. Болезни и врожденные аномалии системы кровообращения / Москва: Изд-во НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН, 2016. 225 с.
- [3] THE OPENFOAM FOUNDATION. OpenCFD, openFOAM user guide. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.openfoam.org/> (дата обращения 06.03.2018).

1.55. Осинцева Е.А. Исследование точности свойств оценок максимального правдоподобия параметров Винеровской деградиционной модели

В современном мире особое внимание уделяется качеству изделий. В стремлении сократить расходы на проведение повторных экспериментов на производстве от практической задачи переходят к теоретической, а именно к построению математической модели.

Существует большое множество деградиционных моделей [1], среди которых наиболее популярными являются винеровские, гамма и обратные гауссовские модели [2]. Деградиционные гамма модели хорошо подходят для описания процессов износа оборудования. В случае если изменение показателя деградации монотонно, также можно использовать обратные гауссовские модели, которые хорошо дополняют семейство деградиционных моделей. Однако стоит отметить, что использование гамма и обратной гауссовской моделей возможно только в случае неотрицательного приращения деградиционного показателя, в других случаях необходимо использовать винеровскую модель [3].

Оценка неизвестных параметров модели является важным первоначальным этапом. Эта задача сводится к нахождению оценок параметров, при которых подобранная модель будет наилучшим образом аппроксимировать наблюдаемые данные, что в конечном итоге позволит получить более точные оценки показателей надежности. В данной работе неизвестные параметры модели оценивались методом максимального правдоподобия.

В результате исследований было выявлено, что точность оценок параметров модели методом максимального правдоподобия зависит от времени проведения эксперимента, количества исследуемых объектов, количества моментов времени измерения деградиционного показателя и от их распределения.

Исходя из вышеприведенных результатов следует то, что повысить точность ОМП параметров модели можно на этапе планирования эксперимента, если известна априорная информация о виде модели.

В работе сформулирован алгоритм построения оптимального плана эксперимента на основе информационной матрицы Фишера, позволяющий получить оптимальное распределение моментов времени измерения деградиционного показателя. Таким образом, с помощью оптимального планирования эксперимента можно повысить точность оценивания параметров винеровской деградиционной модели практически в 4 раза.

Список литературы

- [1] GORJAN N., MA L., MITTINTY M. ET AL. A review on degradation models in reliability analysis // Proceedings of the 4th world congress on engineering asset management, 2009. P. 369–384.
- [2] SHIMITOVA E. V., SHETVERTAKOVA E. S., SERGEEVA S. A., OSINTSEVA E. A. A comparative analysis of the wiener, gamma and inverse gaussian degradation models // Applied methods of statistical analysis. 2017. P. 160–167.
- [3] TSAI C. C., LIN C. T., BALAKRISHNAN N. Optimal design for accelerated-stress acceptance test based on Wiener process // IEEE Trans Reliab. 2015. P. 603–612.

1.56. Палагина А.А. Численное моделирование поверхностных волн. Феномен двухпиковости хронограммы силы

При численном моделировании течений жидкости со свободной поверхностью наиболее трудными являются задачи, в которых подвижной является не только свободная граница, но и некоторые другие части границы области, занятой жидкостью. Например, это задачи о поверхностных волнах, вызванных подводными и береговыми оползнями, о генерации волн волнопродукторами в лабораторных лотках и бассейнах, задачи о накате волн на берег.

Целью настоящей работы является анализ свойств и оценка возможностей вычислительного алгоритма, основанного на конечно-разностной аппроксимации уравнений потенциальных течений жидкости со свободной границей и предназначенного для изучения поверхностных волн в ограниченном бассейне, часть непроницаемой границы которого может быть подвижной. Алгоритм опирается на использование криволинейных сеток, адаптирующихся ко всем частям границы, подвижным и неподвижным.

Разработаны новые неотражающие условия, позволяющие выпускать волны через границу области течения с очень малым отражением. Предложено новое начальное приближение для итерационного процесса расчета потенциала вектора скорости, при использовании которого количество итераций на каждом шаге по времени существенно уменьшается. Обсуждаются причины появления двух пиков в хронограммах давления при накате длинных волн большой амплитуды на вертикальную стенку.

Возможности численного алгоритма продемонстрированы на задаче о генерации волн подвижной

стенкой, перемещающейся в начальной части лотка. Результаты расчётов хорошо воспроизводят экспериментальные данные, в частности, уменьшение длины и увеличение амплитуды волны при ее движении в сторону мелкой части лотка, а также формирование «дисперсионного хвоста» по мере обратного движения волн после отражения от вертикальной стенки, установленной в конце лотка.

С помощью разработанного алгоритма исследовался процесс генерации поверхностных волн подводным оползнем, движущимся по неровному дну, и взаимодействие этих оползневых волн с одиночной поверхностной волной, движущейся в сторону берега. Показано, что поверхностные волны, вызванные подводным оползнем, существенно влияют на процесс наката на берег одиночной волны и могут увеличить ее максимальный заплеск.

1.57. Паршин Д.В., Литовка А.И. Гиперупругие модели материала стенки церебральной аневризмы: эксперимент и моделирование

В последние годы в медицине набирает широкую популярность персонализированный подход к лечению пациента. В частности, в нейрохирургии, при принятии решения по поводу оперирования церебральной аневризмы всё чаще используется предоперационное моделирование последующего клипирования аневризмы, которое предполагает численное решение задачи гемодинамики, в том числе задачи типа FSI. В ходе решения такой задачи необходимо выбрать математическую модель гиперупругого материала, которая задавала бы стенку аневризмы.

На настоящий момент не существует определенных рекомендаций по выбору такой модели, и использование той или иной модели при моделировании никак не обосновывается и не зависит от характеристик конкретной аневризмы. В нашей работе проводится исследование [1] применимости моделей Йо, Нео – Гука и Муни – Ривлина (3 и 5 параметров) для описания свойств стенки аневризмы из предположения её гиперупругим материалом.

Для моделирования были использованы экспериментальные данные, полученные во время механического исследования по одноосному растяжению материала стенки аневризмы. Благодаря сотрудничеству с НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина, после операций по клипированию аневризм нами был произведен забор тканей образцов, которые были подвержены растяжению на разрывной машине Zwick&Roell Z10 (Germany).

На основе полученных данных математического моделирования проведен анализ применимости каждой из моделей в зависимости от степени деформации и статуса аневризмы (разорвавшаяся/неразорвавшаяся), что может послужить хорошей основой для определения наилучшей мо-

дели гиперупругого материала в предоперационном моделировании. Проведено численное моделирование механики ткани аневризмы в пакете ANSYS с использованием указанных моделей. Следуя работе [2], оценивалось критическое напряжение при разрыве, проводилась валидация моделей при помощи сравнений с экспериментальными данными.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства РФ № 14.W03.31.0002.

Список литературы

- [1] PARSHIN ET AL. On the optimal choice of a hyperelastic model of ruptured and unruptured cerebral aneurysm // Scientific reviews. Under review.
- [2] FORTUNATO R. N., ROBERTSON A. M., SANG C., MAI S. Computational modeling reveals the relationship between intrinsic failure properties and uniaxial biomechanical behavior of arterial tissue // Biomechanics and Modeling in Mechanobiology. 2019. P. 1–7.

1.58. Паскарь С.Ю. Аномальная диффузия нестабильного газа как флуктуация и колебательный процесс

К диффузионной модели приводят различные физические и не обязательно физические задачи: одни и те же диффузионные уравнения описывают поведение нейтронов в ядерном реакторе, курса ценных бумаг на финансовой бирже и частиц цветочной пыльцы, взвешенных в жидкости [1]. В отличие от методов, основанных на применении операторов дробных производных [2], для описания механизма явления аномальной диффузии, изначально используя классические законы, получено нестационарное одномерное уравнение для нестабильного (радиоактивного газа) в конденсированных средах:

$$\frac{\partial c}{\partial t} \left[1 + \frac{\partial}{\partial t} (L \pm \Psi) \right] - \Lambda c(t) = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial c}{\partial x} \times \left[\frac{\partial}{\partial x} (L \pm \Psi) - \frac{mg}{\gamma} \right], \quad (1)$$

где Λ – постоянная распада радона ^{222}Rn , c – концентрация вещества, m – масса, g – ускорение свободного падения, $\gamma = 6\pi R\eta$ – коэффициент фактора формы при скорости безвихревого (свободного) движения частицы, η – коэффициент вязкости среды, R – радиус сферической частицы, D – коэффициент диффузии (из известного соотношения Эйнштейна). Параметр шума Ψ является условным обозначением случайного (стохастического) процесса, а введённый нами энергетический параметр L является характеристикой однородного процесса с автомодельным одномерным устойчивым распределением.

Уравнение (1) выражает зависимость концентрации c от времени t и пространственной координаты x . Его решение при выборе соответствующих

краевых условий выражает аномальный диффузионный процесс в виде устойчивого распределения. Отметим что данное распределение не является Гауссовым.

В проведённом численном эксперименте, использованы опытные данные. На полученных результатах отражён процесс эволюции концентрации во времени и пространстве. Хорошо виден разрыв, не свойственный процессу диффузии, более того замечены неизвестные свойства аномальной диффузии, позволяющие его характеризовать как флуктуацию и колебательный процесс. Это выражается в чередовании кривых супердиффузии и субдиффузии. При возрастании величин флуктуаций нарушаются многие стандартные физические зависимости, они не могут считаться независимыми, аддитивными, для их описания не подходят методы основанные на Гауссовом распределении [3].

Данный факт позволяет выдвинуть гипотезу о наличии квазиупругих сил в конденсированных средах, приводящих к флуктуациям подобного рода. Квазиупругие силы в полученном уравнении выражены через введённые параметры L и Ψ . С другой стороны энергетическая составляющая (функция состояния) части внутренней энергии, отвечает за подобные аномальные процессы, оказывает ведущее влияние на неклассические диффузионные процессы в газах, приводящие к аномальным процессам подобного рода.

Список литературы

- [1] Учайкин В. В. Автомодельная аномальная диффузия и устойчивые законы // УФН. 2003. Т. 173. № 8. С. 847–876.
- [2] Паскарёв С. Ю. Обобщённая математическая модель Огильви переноса радона в двухслойной геосреде с фрактальными свойствами // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 1. С. 84–87.
- [3] Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Том 3: Теория неравновесных систем / Москва: УРСС, 2003. 42 с.

1.59. Першин А.И. Моделирование динамики золотникового распределителя гидроударного устройства

Совершенствование гидроударных устройств (ГУ) исполнительных органов горных машин является актуальной задачей, способной существенно понизить энергозатраты на разрушение горных пород. Одним из вариантов решения проблемы является разработка ГУ с регулируемой энергией удара (см., например [1]), что достигается введением в систему распределения потоков жидкости специальных элементов управления. В этом случае представляется перспективным применение ГУ «с задержкой движения бойка» [2] с использованием золотникового распределителя [3].

Экспериментальные исследования показали проблемы при работе такого распределителя, требую-

щие более детальной проработки его конструкции и оптимизации параметров. В связи с этим в настоящей работе предпринята попытка имитационного моделирования работы ГУ «с задержкой движения бойка» и анализа динамики элементов распределительного устройства (РУ). Приводятся имитационная модель ГУ с распределителем [3] и результаты расчетов его рабочих циклов при разных режимах работы. Представлен анализ и сравнение расчетных данных с экспериментальными. Даются рекомендации по оптимизации параметров элементов распределителя, обеспечивающих его надежную работу и максимальное быстродействие.

Работа выполнена в рамках проекта ФНИ № гос. регистрации АААА-А17-117122090003-2.

Научный руководитель — д.т.н. Городилов Л. В.

Список литературы

- [1] GUOPING Y., YUBAO C. The Research of New Type Hydraulic Breaker with Strike Energy and Frequency of Adjusted // Mech. Eng. Res. 2012. Vol. 2. N. 2. P. 45–51.
- [2] Городилов Л. В. Исследование динамики гидроударных объемных систем двухстороннего действия. Ч. I: Основные свойства // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 3. С. 91–101.
- [3] Городилов Л. В. Пашина О. А., Ткачук А. К., Кудрявцев В. Г. Распределитель гидравлических ударных устройств (варианты). Патент 2321777 РФ (свидетельство № 2006134938/06) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2008.

1.60. Першин И.С. Алгоритм рекурсивного разбиения области для метода LBM

Задачи математического моделирования порождают исследования, направленные на поиск высокопроизводительных алгоритмов их решения. Актуальность подобных алгоритмов сложно переоценить, поскольку эффективное использование компьютерных ресурсов позволяет повысить скорость получения новых результатов, а также снижает экономические затраты на численное моделирование. В настоящей работе представлен новый алгоритм, предназначенный для более эффективного решения задач вычислительной гидродинамики, а также проведено исследование его производительности с помощью модели Roofline [1] и ее обобщений.

Существует важный подкласс задач численного моделирования, называемых *шаблонными (stencil) задачами*, в которых значение в каждой ячейке некоторой регулярной сетки обновляется согласно локальному *шаблону*. Данные задачи характеризуются низкой вычислительной интенсивностью, то есть малым числом арифметических операций по отношению количеству пересылаемых данных. Это делает такие задачи *ограниченными по памяти (memory-bound)* на всех современных компьютерах. Продвинутые алгоритмы, использующие тех-

ники *пространственного тайлинга* и *временного тайлинга*, позволяют поднять эту интенсивность, тем самым увеличивая производительность. Автор развивает семейство алгоритмов *рекурсивное разбиение области (Recursive Domain Decomposition, RDD)*, использующих локализацию данных в регистрах GPU и многоуровневый пространственный тайлинг, и потенциально пригодных для кратного ускорения решения любой шаблонной задачи. Начало исследованиям положила работа [2], в которой алгоритм RDD реализован для одномерного волнового уравнения и шаблона «крест», и была достигнута производительность в 90% от пиковой.

Метод решётчатых уравнений Больцмана (Lattice Boltzmann method, LBM), основанный на решении дискретного кинетического уравнения Больцмана — современный и быстро развивающийся метод вычислительной гидродинамики [3]. LBM является шаблонной задачей, однако большинство реализаций не используют техники тайлинга. Применение алгоритма ConeTorre, основанного на теории LRnLA [4], использующей многоуровневый пространственно-временной тайлинг, позволило поднять производительность более чем вдвое. Несмотря на достигнутые результаты, алгоритм ConeTorre для LBM всё ещё является *memory-bound* по основной памяти GPU, за счёт чего достигается утилизация пиковой производительности на уровне 15%. В представленной работе показано, что алгоритм RDD для LBM свободен от ограничений по памяти и позволяет ещё более эффективно использовать GPU в задачах гидродинамики.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-71-10004).

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

Список литературы

- [1] WILLIAMS S., WATERMAN A., PATTERSON D. Roofline: an insightful visual performance model for multicore architectures // Communications of the ACM. 2009. Vol. 52. N. 4. P. 65–76.
- [2] PERSHIN I., LEVCHENKO V., PEREPKINA A. Performance Limits Study of Stencil Codes on Modern GPGPUs // Supercomputing Frontiers and Innovations. 2019. Vol. 6. N. 2. P. 86–101.
- [3] CHEN S., DOOLEN G. Lattice Boltzmann method for fluid flows // Annual review of fluid mechanics. 1998. Vol. 30. N. 1. P. 329–364.
- [4] LEVCHENKO V., ZAKIROV A., PEREPKINA A. GPU Implementation of ConeTorre Algorithm for Fluid Dynamics Simulation // Proc. Intern. Conf. «PaCT 2019». Almaty: Springer, 2019. P. 199–213.

1.61. Погудалина С.В. Математическое моделирование сопряженного взаимодействия воздушного потока с упругим стержнем

При проектировании протяженных или высотных строительных сооружений необходимо учитывать

их динамическое взаимодействие с внешним воздушным потоком. Явление аэроупругости изучается на протяжении многих лет как теоретическими, так и экспериментальными методами. В последние годы для исследования активно привлекаются методы компьютерного моделирования, которые позволяют получить детальную картину процесса и разработать способы предотвращения разрушения конструкций.

В работе представлены результаты численного моделирования колебаний упругого высокого стержня, установленного перпендикулярно внешнему потоку. Моделирование выполнено в расчетном комплексе ANSYS с использованием технологии двунаправленного сопряжения (2FSI). Движение воздушной среды описывается на основе 3D нестационарных уравнений Навье—Стокса, а движение стержня — нестационарными уравнениями теории упругости с учетом геометрической нелинейности.

В работе представлены результаты модального и сопряженного расчета. Получены собственные частоты и формы колебаний стержня. Исследован процесс возбуждения колебаний упругой модели под действием внешнего потока и определено его напряженно-деформированное состояние.

Проанализирована структура и описаны особенности течения воздуха в окрестности модели. Показано, что в первый временной период стержень совершает продольные колебания с первой собственной частотой, амплитуда которых быстро затухает. В следующий период времени под действием периодической нагрузки, обусловленной формирующейся за стержнем вихревой дорожкой Кармана, развиваются колебания в поперечном направлении. В дальнейшем, в отличие от предыдущих расчетов [1] отрывная зона за телом приобретает неоднородную по высоте структуру.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90163.

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Федорова Н. Н.

Список литературы

- [1] Погудалина С.В., Федорова Н.Н., Вальгер С.А. Сопряженный расчет взаимодействия воздушного потока с упругим стержнем квадратного сечения, закрепленного на подложке // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 5 (689). С. 11–20.

1.62. Попов А.В. Моделирование структуры и свойств наноматериалов в условиях сильной неравновесности

В современном мире наноматериалы получили выдающееся технологическое развитие благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам.

Многочисленные исследования показали, что основные и технически интересные свойства наноматериалов, такие как прочность, электропроводность, твердость проявляется именно в наномасштабе. Поэтому изучение свойств таких материалов является актуальным в современном материаловедении. Для изучения оптических и электронных свойств используются как экспериментальные, так и теоретические методы. Использование экспериментальных методов приводит к большим финансовым, временным и трудовым затратам, которые могут быть существенно сокращены при использовании методов компьютерного моделирования свойств новых наноматериалов.

Многие физико-химические свойства вещества определяются его электронным строением. Знание электронного строения позволяет не только объяснить обнаруженное поведение вещества, но и предсказывать, создавать материалы с заранее заданными свойствами. На сегодняшний день в исследовании электронной структуры атомов, молекул, твердых тел достигнут значительный успех. Наиболее популярными являются методы расчета электронной структуры вещества в основном состоянии. Однако наибольший интерес представляют возбуждения: тепловые, вакансионные, примесные, электромагнитные и др., в которых пребывают электроны реального вещества.

Нами предложена оригинальная идея использования несамосопряженных операторов для описания электронных возбуждений в открытых наносистемах [1]. Данная методика основывается на рассмотрении всевозможных орбитальных передов электронов под действием внешнего поля. При этом данная методика учитывает ширину энергетических уровней, что позволяет в рамках единой схемы оценить время жизни образующегося возбужденного состояния. Благодаря чему удалось обнаружить ряд новых явлений, таких как энергетический коллапс атомов, аномальное расщепление и перемешивание энергетических состояний [2].

Список литературы

- [1] Попов А. В. Решение спектральной задачи для электронов в атоме, учитывающей ширину энергетических уровней // Оптика и спектроскопия. 2002. Т. 93. С. 5–7.
- [2] Pоpov A. V. Computer simulation of electronic excitations in beryllium // Mathematical Modelling and Geometry. 2015. Vol. 3. P. 29–59.

1.63. Пресняков С.С., Куянова Ю.О., Дубовой А.В., Паршин Д.В. Модельная задача об оптимизации угла установки церебрального сосудистого анастомоза

Проблема лечения сосудистых патологий является одной из актуальных проблем нейрохирургии. Один из методов применяемый при лечении сосудистых патологий головного мозга состоит в фор-

мировании обходных сосудистых анастомозов (соединение между собой обычно отдельных частей сосудов с целью перенаправления кровотока, обходя патологию). Однако при установке анастомозов в ряде случаев возникают такие осложнения, как: тромбирование отдельных участков сосудов, недостаточная пропускная способность несущей артерии и другие.

В данной работе мы рассматриваем модельную задачу об оптимизации угла установки церебрального сосудистого анастомоза в зависимости от соотношения радиусов несущей артерии и анастомоза, а также скорости течения в них. Рассмотрены трёхмерные модельные конфигурации анастомозов (два входа и один выход) с различным углом установки анастомоза: 30° , 45° , 60° и 90° . Оптимизировалась величина энергии вязкой диссипации. Задача решалась численно в программном пакете ANSYS/CFX. При выполнении расчёта использовался метод конечных объемов на неструктурированной тетраэдрической сетке (адаптирована по кривизне).

В результате численного моделирования получены изоповерхности, позволяющие оценить минимум такой энергии в зависимости от соотношений скорости и угла установки анастомоза. Этот результат соответствует клинической задаче о минимизации риска тромбообразования при установке сосудистого анастомоза. Выполнено сравнение результатов для методики жёсткого расчёта и расчета с учётом FSI.

Работа выполнена при участии Федерального центра нейрохирургии (г. Новосибирск) и при поддержке гранта Правительства РФ (проект № 14.W03.31.0002).

1.64. Радченко П.А., Батуев С.П., Радченко А.В., Максимов В.Б. Исследование разрушения железобетонных плит на жестких и податливых опорах при импульсном нагружении

В работе представлены результаты комплексного экспериментально-численного исследования разрушения железобетонных плит на жестких и податливых опорах при динамическом воздействии. Экспериментальные исследования проводились на кафедре железобетонных и каменных конструкций ТГАСУ. Численное моделирование проводится в полной трехмерной динамической постановке в рамках феноменологического подхода механики сплошной среды.

Для численных расчетов используется авторский алгоритм и программный комплекс EFES. В качестве критерия разрушения принимается предельная величина интенсивности деформаций. Представлены результаты численного исследования влияния коэффициента разрушения на картину трещинообразования и разрушения в бетонной плиты без армирования. После выбора оптимального значения

коэффициента разрушения были проведены исследования поведения бетонной плиты с неявным выделением арматурного каркаса.

Экспериментальным образцом являлась железобетонная плита с размерами в плане 1100×1600 мм, толщиной 40 мм. Армирование опытных образцов выполнено в виде вязаной сетки из арматуры 4 класса Вр500 с ячейкой 100 мм. Рабочая зона плиты составляла 1000×1500 мм, отношение сторон 1:1.5 обеспечивало работу конструкции в двух направлениях. Жесткое опирание плиты реализовывалось при помощи роликовых и шаровых опор. Динамическое нагружение задавалось путем сбрасывания груза массой 420 кг с высоты 200 мм, при этом рассматривалась работа конструкции на всех стадиях деформирования вплоть до разрушения. Оценка напряженно-деформированного состояния конструкций в процессе эксперимента осуществлялась по показаниям комплекса измерительных датчиков и устройств. Перемещения отдельных точек конструкции фиксировали четырьмя датчиками перемещения. В результате проведенных экспериментальных исследований были получены характерные схемы трещинообразования и разрушения, а также построены графики изменения нагрузки и перемещений во времени.

Представленные результаты показывают хорошее количественное и качественное соответствие эксперимента и численного моделирования.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты № 18-41-703003 и № 18-48-700035.

1.65. Роженко С.А. Использование ядерных оценок для сравнительного анализа статистических алгоритмов моделирования процесса переноса поляризованного излучения

Известны два варианта весовых векторных алгоритмов метода Монте-Карло для моделирования процесса переноса поляризованного излучения: «адаптивный» алгоритм, обеспечивающий конечность дисперсий оценок, и «стандартный» алгоритм, удобный для параметрического анализа результатов и более простой в реализации [1–3].

Сравнительная эффективность данных алгоритмов, а также алгоритма, представляющего из себя их комбинацию, исследована для задачи с молекулярной матрицей рассеяния. При этом вычислялись векторные освещенность и яркость для прошедшего и отраженного излучения. Для оценки соответствующих угловых распределений разработана статистическая ядерная оценка с учётом весов регистрируемых квантов.

Проведённый сравнительный анализ позволил сформулировать рекомендации по выбору подходящего алгоритма моделирования для задач с поляризацией из соображений их эффективности и слож-

ности реализации.

Следует отметить, что необходимость оценки распределений случайных величин возникает во всевозможных задачах метода Монте-Карло. Ядерные оценки позволяют получить более точную оценку распределения, чем гистограммные оценки с последующей линейной интерполяцией, однако, их оптимальное применение осложняется необходимостью построения априорной оценки второй производной распределения. Предложенный практический алгоритм построения ядерной оценки позволяет обойтись без априорной оценки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 17-01-00823 а, 18-01-00356 а, 18-31-00213 мол_ а).

Список литературы

- [1] МАРЧУК Г. И., МИХАЙЛОВ Г. А., НАЗРАЛИЕВ М. А. и др. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике / Новосибирск: Наука, 1976. 280 с.
- [2] KATTAWAR G. W., PLASS G. N. Radiance and polarization of multiple scattered light from haze and clouds // Applied Optics. 1968. Vol. 7. N. 8. P. 1519–1527.
- [3] KERSCHER M., KRICHBAUMER W., NOORMONAMDIAN M., OPPEL U. G. Polarized multiply scattered LIDAR signals // Optical Review. 1995. Vol. 2. N 4. P. 304–307.

1.66. Рыбков М.В. Численное решение задач химической кинетики явными методами с расширенными областями устойчивости

Моделирование кинетики химических реакций применяется при исследовании разнообразных химических процессов. Предметом изучения являются временные зависимости концентраций реагентов, которые являются решением задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. При расчете таких задач основными трудностями являются большая размерность систем дифференциальных уравнений и жесткость, что в совокупности ставит вопрос о применении неявных методов, поскольку обращение матрицы Якоби задачи определяет общие вычислительные затраты [1]. Явные методы в свою очередь не требуют декомпозиции данной матрицы, но обладают небольшими областями устойчивости, что накладывает ограничение на шаг интегрирования на участках установления решения задачи.

В [2] построены методы Рунге—Кутты первого порядка точности с расширенными и согласованными областями устойчивости. Показано, что согласование численных схем приводит к примерно 30-процентному повышению эффективности алгоритма интегрирования и обеспечивает более оправданное поведение шага на участке установления. Здесь представлены высокостадийные методы с расширенными областями устойчивости, которые удалось

построить в том числе за счет использования библиотеки повышенной точности GMP.

Приведены результаты моделирования пиролиза этана, который в отсутствие кислорода описывается шестью стадиями при участии восьми реагентов. Проведены расчеты модифицированного орегонатора, дающего сложный предельный цикл, который описывается пятью обратимыми и одной необратимой стадией при участии семи реагентов. Данная реакция протекает в изотермическом реакторе постоянного объема с обменом вещества. Соответствующая система дифференциальных уравнений состоит из семи уравнений. Показано повышение эффективности по сравнению с наиболее известными современными явными методами при интегрировании жестких задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-31-00375). Участие в XX Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям проведено при поддержке Красноярского краевого фонда науки.

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Новиков Е. А.

Список литературы

- [1] Новиков Е. А. Явные методы для жестких систем: монография / Новосибирск: Наука, 1997. 195 с.
- [2] RYVKOV M. V., NOVIKOV A. E., KNAUB L. V., LITVINOV P. S. Solving Problems of Moderate Stiffness Using Methods of the First Order with Conformed Stability Domains // Университетский научный журнал. 2016. N. 22. P. 49–58.

1.67. Рывков И.А. Численное моделирование течения степенной жидкости в трубе переменного сечения

Транспорт жидкой среды в каналах переменного сечения широко реализуется в различных технических приложениях. Это обстоятельство обуславливает постоянный интерес исследователей к изучению подобного рода течений.

В работе исследуется установившееся осесимметричное течение вязкой несжимаемой жидкости в трубе переменного сечения при наличии участка сужения с последующим расширением. Для математического описания потока жидкости используется уравнение в переменных вихрь-функция тока, записанные в цилиндрической системе координат. Реологическое поведение рассматриваемой среды описывается степенной моделью Оствальда — де Ваала. Жидкость поступает в трубу через входное сечение с постоянным заданным расходом. На твердой стенке выполняются условия прилипания, в выходном сечении реализуются мягкие граничные условия. На оси симметрии выполняются условия симметричные условия. На твердых границах трубы выполняются условия прилипания, вдоль оси трубы — условия симметрии.

мощью конечно-разностного метода. С целью нахождения стационарных полей вихря и функции тока в расчетных узлах используется метод установления, в результате применения которого стационарная задача преобразуется в нестационарную и процесс нахождения искомым функций сводится к пошаговому приближению решения нестационарной задачи к решению исходной стационарной задачи. Степенное уравнение в случае псевдопластичной жидкости имеет особенность «бесконечной» вязкости при нулевых значениях второго инварианта тензора скоростей деформаций. С целью устранения особенности используется регуляризация реологического уравнения.

В результате расчетов получены картины стационарного течения жидкости в трубах с различной глубиной перекрытия, которые характеризуются наличием зоны двумерного течения в окрестности участка сужения и расширения. Расчеты выполнены для трех реологических сред: ньютоновской, псевдопластичной и дилатантной. Продемонстрировано влияние числа Рейнольдса и параметра нелинейности реологической модели на структуру потока.

Исследование выполнено за счет гранта Российской государственной научной организации (проект № 18-19-00021).

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

1.68. Рывков И.А. Структура потока и гидравлическое сопротивление при движении вязкопластичной жидкости в трубе со скачком сечения

Течения реологически сложных жидкостей в трубах с конструктивными элементами являются объектами исследования многих теоретических и экспериментальных работ. Основным интерес вызывает проявление реологических свойств жидкости при формировании структуры потока, а также влияние геометрических особенностей на картину течения и напорно — расходные характеристики трубы.

В работе выполняется численное моделирование ламинарного стационарного течения вязкопластичной жидкости в цилиндрической трубе со скачком сечения. Для математического описания рассматриваемого течения используются уравнение переноса вихря и уравнение Пуассона для функции тока, записанные в цилиндрической системе координат. Реология жидкости определяется законом Шведова — Бингама, который предполагает наличие предела текучести, т. е. предельного напряжения сдвига. Вязкопластичная жидкость подается в трубу через входное сечение с постоянным заданным расходом. В выходном сечении используются мягкие граничные условия. На твердых границах трубы выполняются условия прилипания, вдоль оси трубы — условия симметрии.

В ходе решения поставленной задачи используется метод установления, в соответствии с которым

в уравнения для стационарного процесса добавляются производные по «фиктивному» времени от искомых функций, которые обнуляются при полном установлении процесса. Численное решение осуществляется конечно-разностным методом на основе схемы переменных направлений с последующим применением метода прогонки. Рассматриваемая модель жидкости имеет особенность «бесконечной» вязкости в области, где напряжения не превышают предельного значения (зона квазитвердого движения, квазитвердое ядро). Для устранения данной особенности проводится регуляризация реологического уравнения.

На основе результатов расчетов получена структура течения в виде распределения зон квазитвердого и сдвигового течения, а также застойной зоны в области внутреннего угла. Продемонстрировано влияние безразмерных параметров на размеры квазитвердых ядер и протяженность зон двумерного течения в окрестности скачка сечения. Построены зависимости коэффициента местного сопротивления от значений определяющих параметров.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-19-00021).

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

1.69. Семенов А.Н., Колосов Г.Л., Якушкин А.А. Численное моделирование развития контролируемых возмущений от нескольких источников в сверхзвуковом пограничном слое плоской пластины

В работе исследуется развитие локализованных периодических пульсаций малой интенсивности в сверхзвуковом пограничном слое плоской пластины при числе Маха $M = 2.5$ от одного или двух источников возмущений, расположенных на расстоянии 30 мм от передней кромки модели и 6 мм друг от друга в поперечном направлении. Расчет производился с помощью программного комплекса ANSYS Fluent, решались полные уравнения Навье—Стокса. Использовалась неструктурированная расчетная сетка со сгущением к поверхности модели. Расчет проводился в два этапа: на первом этапе решалась стационарная задача, на втором этапе в пограничный слой вводились возмущения от источников диаметром 0.4 мм с частотой 10 или 20 кГц в виде массового расхода на уровне 1% от среднего течения. Максимальные амплитуды возмущений продольного массового расхода наблюдались на уровне 0.55 – 0.65 от толщины пограничного слоя, что согласуется с экспериментальными данными. Определены скорости распространения локализованных возмущений. Установлено, что скорость переднего фронта больше скорости заднего фронта в 2 раза. В случае одного источника возмущений установлено, что в области переднего фронта возникают колебания в процессе движения волнового

пакета вниз по потоку и их амплитуда возрастает в течении времени. Определены основные волновые характеристики развития волнового пакета и показано соответствие с расчетами по линейной теории. В случае двух источников возмущений, работающих синхронно и асинхронно, обнаружено их взаимодействие вниз по потоку и образование интерференционной картины с выделенными максимумами и минимумами, что также совпадает с экспериментальными данными.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-31-00171).

1.70. Семёнов Е.В. Некоторые результаты численного моделирования атмосферных процессов над городом

Города оказывают все большее влияние на окружающую среду. Климат города существенно отличается от сельской местности. Важной особенностью крупных городов является остров тепла, поведение которого оказывает сильное влияние на термическую структуру и динамику приземного слоя воздуха, и, в конечном счете, на экологию городской окружающей среды.

В предлагаемой работе представлены результаты применения разрабатываемой в ТГУ мезомасштабной метеорологической модели TSUNM3 [1] для исследования развития локальных атмосферных процессов над городом в течение суток в разное время года. Модель учитывает различные факторы, сопровождающие циркуляцию воздушных масс над городом, имеющим существенное отличие от окружающей местности по характеру динамического и теплового взаимодействия с атмосферным пограничным слоем. В данной статье модель дополнена современной моделью турбулентности, учитывающей неоднородность вертикальной температурной структуры приземного слоя атмосферы [2].

Возможности модели TSUNM3 по предсказанию «острова тепла» были апробированы для разных погодных условий в г. Томск. Для оценки качества результатов расчетов, выполненных с использованием суперкомпьютера ТГУ, применено оборудование ЦКП «Атмосфера» Института оптики атмосферы имени В.Е. Зуева СО РАН. В работе выполнено сравнение результатов моделирования метеорологических параметров атмосферы с наблюдениями с помощью разнообразных приборов для разных погодных условий в районе Томска и ближайших пригородов.

Установлено, что модель высокого пространственного разрешения TSUNM3 адекватно отражает физические закономерности и с большой точностью предсказывает состояние атмосферы при различных погодных условиях. Показано, что она может описывать процессы с большим пространственным и временным разрешением, что очень важно при большой точности расчетов. Продемонстриро-

ваны возможности модели прогнозировать состояние атмосферы над городом, в том числе, остров тепла и его характеристики (интенсивность, горизонтальные и вертикальные размеры, время существования, температурно-влажностные показатели, циркуляцию воздуха).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-71-20042).

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

Список литературы

- [1] STARCHENKO A. V., BART A. A., BOGOSLOVSKIY N. N. ET AL. Mathematical modelling of atmospheric processes above an industrial centre // Proc. Intern. Conf. «20th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics». 2014, Vol. 9292. P. 1–30.
- [2] СТАРЧЕНКО А. В. Моделирование переноса примеси в однородном атмосферном пограничном слое // Труды Международной конференции «ENVIROMIS-2000». Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2000. С. 77–82.

1.71. Семёнов Е.В. Численное решение конвективно-диффузионного уравнения на графическом процессоре с использованием технологии CUDA

В работе представлены результаты распараллеливания явно-неявного алгоритма численного решения нестационарного неоднородного уравнения «конвекции-диффузии» на графическом процессоре. Решалась трехмерная задача расчета распространения примеси в окрестности города Томска от постоянно действующего источника. Размер области исследования составлял 50000 м в длину, 50000 м в ширину и 600 м в высоту с городом, расположенным по центру области [1]. Компоненты скорости и коэффициенты диффузии рассматривались постоянными [2].

Для численного решения уравнения переноса примеси применялась технология вычислений на графических процессорах CUDA, сама программа написана на языке программирования высокого уровня C++ [3].

Точность решения контролировалась по известному аналитическому решению рассматриваемой задачи.

Проводится исследование скорости работы программы и точности отыскания приближенного численного решения в зависимости от выбора шага между узлами расчетной сетки. Также в работе рассмотрены проблемы реализации алгоритма на графических картах: вопрос использования медленной глобальной памяти и возможность распределения ресурсов с использованием распределенной памяти, а также ограничение на размер сетки, хранящейся в памяти графической карты.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-71-20042).

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

Список литературы

- [1] STARCHENKO A. V., BART A. A., BOGOSLOVSKIY N. N. ET AL. Mathematical modelling of atmospheric processes above an industrial centre // Proc. Intern. Conf. «20th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics». 2014, Vol. 9292. P. 1–30.
- [2] СЕМЁНОВА А. А., СТАРЧЕНКО А. В. Разностная схема для нестационарного уравнения переноса, построенная с использованием локальных весовых интерполяционных кубических сплайнов // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2017. № 49. С. 61–74.
- [3] СТРАУСТРУП Б. Язык программирования C++. Специальное издание / М.: Бином, 2011. 1136 с.

1.72. Сенотрусова С.Д. Математическое моделирование функционирования p53-сети

Белок p53 (супрессор опухолей) является одним из главных регуляторов, отвечающих за определение судьбы клетки. При нарушении функции p53 происходит развитие дегенеративных заболеваний, характеризующихся чрезмерным накоплением в организме дефектных клеток или, наоборот, массовой преждевременной клеточной смертью. Последние биологические исследования показали, что в регуляции белка p53 важную роль играют микроРНК (microRNA), многие из которых взаимодействуют с p53 по принципу отрицательной или положительной обратной связи. Специалисты полагают, что раскрытие механизмов регулирования в p53-сети может быть использовано как для разработки новых подходов к лечению онкологических заболеваний, так и для определения стратегии профилактики многих заболеваний, включая меры по замедлению процессов старения. Однако роли участников рассматриваемой системы белков до конца не изучены и требуют подробного исследования, в том числе средствами математического моделирования.

В докладе будет представлена иерархия минимальных математических моделей, описывающих наиболее общие закономерности функционирования биологической системы «p53 — белок — ингибитор — microRNA». Использование дифференциальных уравнений с запаздывающими аргументами, скрывающими сложные взаимодействия в сигнальной системе белка p53, позволило рассматривать только основных участников p53 — сети, без детализации процесса. Принятые математические модели описывают функционирование p53 — сети в нормальных условиях и прогнозируют возможные опасные ситуации для организма. Выполнено численное исследование функционирования микроРНК в условиях дерегуляции p53 — сети. В рамках принятой модели изучено дерегулирование мик-

роРНК, даны обобщенные оценки диагностического потенциала р53 — зависимых микроРНК при онкологических и нейродегенеративных заболеваниях. Рассмотрены возможные стратегии восстановления нормального уровня р53 и связанных с ним микроРНК в целях профилактики угрозы рака. Изучены возможные варианты противораковой терапии, связанные с гиперактивацией регуляторов апоптоза р53 и микроРНК [1]. Результаты численного анализа хорошо согласуются с данными клинико — лабораторных исследований.

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

Список литературы

- [1] Воропаева О. Ф., Лисачев П. Д., Сенотрусова С. Д., Шокин Ю. И. Гиперактивация сигнального пути р53–микроРНК: математическое моделирование вариантов противоопухолевой терапии // Математическая биология и биоинформатика. 2019. Т. 14. № 1. С. 355–372.

1.73. Скибина Н.П., Фарапонов В.В., Маслов Е.А. Математическое моделирование термогазодинамических процессов при обтекании прямого воздушного реактивного двигателя высокоскоростным потоком

В настоящее время актуальными являются задачи определения локальных и интегральных аэродинамических характеристик гиперзвуковых летательных аппаратов и их основных частей, проблемы создания прямооточных воздушно-реактивных двигателей со сверхзвуковым горением твердотопливного заряда, вопросы струйного управления движением и теплозащиты.

В данной работе представлено комплексное экспериментально-теоретическое исследование обтекания модельного прямооточного воздушно-реактивного двигателя (ПВРД) набегающим потоком с числами Маха $M=5$ и $M=6$. Физическое моделирование проводилось на импульсной аэродинамической установке [1] с использованием плоской и осесимметричной моделей. Получена визуализация структуры течения в проточном тракте ПВРД, произведена регистрация параметров на оси и внутренней стенке модели.

Математическое описание процесса обтекания состоит из осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье—Стокса в декартовой системе координат [2] в сочетании с уравнениями модели турбулентности SST. Решается классическая задача внешнего обтекания: размеры расчетной области выбраны относительно большими, чтобы дальние граничные условия не влияли на поле течения вблизи тела, параметры набегающего потока соответствуют параметрам потока на срезе сопла в используемой аэродинамической установке [3].

Сопоставление кадров теневой визуализации и полей распределения плотностей, полученных в результате математического моделирования, показало качественное согласование структуры потока в проточном тракте ПВРД. Экспериментально получено распределение температуры на стенке проточного тракта модели, произведено сравнение с результатами численного решения задачи с учетом теплообмена между моделью и набегающим потоком. Рассогласование экспериментальных и расчетных данных по значению числа Маха на оси симметрии модели за критическим сечением не превышает 3%.

Информация о распределении параметров потока в проточном тракте ПВРД, полученная в ходе работы, может быть использована в практических целях — например, для изменения внутренней геометрии двигателя с целью повышения температуры и скорости потока, от которых зависят энергетические характеристики.

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

Список литературы

- [1] Звездинцев В. И. Газодинамические установки кратковременного действия. Часть I. Установки для научных исследований / Новосибирск: Параллель, 2014. 551 с.
- [2] Скибина Н. П., Савкина Н. В., Фарапонов В. В. Численное моделирование обтекания цилиндрического тела сверхзвуковым потоком // Тр. IX Всероссийской конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики (ФППСМ-2016)». Томск: Томский государственный университет, 2016. С. 151–153.
- [3] Скибина Н. П., Савкина Н. В., Фарапонов В. В., Маслов Е. А. Комплексный подход к решению задачи высокоскоростного обтекания тела в импульсной аэродинамической установке и проверка согласованности полученных результатов // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. № 59. С. 118–129.

1.74. Смирнов Д.Д. Высокопроизводительные параллельные алгоритмы моделирования динамики вихревых нитей в сверхтекучем гелии на суперкомпьютере

Физические процессы протекают под воздействием случайных факторов, поэтому для их моделирования актуально использовать системы стохастических дифференциальных уравнений (СДУ). К сожалению, аналитическое решение систем СДУ часто не удаётся найти, поэтому на первый план выходит метод численного статистического моделирования. С помощью этого метода можно как смоделировать динамику отдельных реализаций решения, так и найти различные оценки вероятностных характеристик от решения по всем реализациям решения. Чтобы оценить вероятностные характеристики с высокой точностью приходится моделировать

большое количество реализаций решения с малым шагом интегрирования численного метода для каждой реализации решения [1]. Целью данной работы является моделирование динамики квантовых вихревых нитей в сверхтекучем гелии под воздействием случайной силы Ланжевена, поэтому возникает система СДУ, которую требуется решить. Решение этой системы СДУ определяет положение частиц сверхтекучего гелия в пространстве в заданный момент времени. До этого подобные задачи решались без учёта случайной силы Ланжевена. Сфера применения теории стохастических квантовых вихревых нитей в сверхтекучем гелии необычайно широка: от теории фазовых переходов до свойств бозе-эйнштейновского конденсата [2]. Так как особый интерес представляет исследование системы при её выходе на стационар, то решение проводится на длинных временных интервалах. Из-за большого количества частиц сверхтекучего гелия возникает система СДУ большой размерности. Большое количество реализаций решения, малый шаг интегрирования численного метода, длинный временной интервал и большой размер системы СДУ требует использования суперкомпьютера, на котором можно реализовать параллельные алгоритмы для решения данной задачи. Расчёты задачи были проведены на кластерах НКС-30Т и НКС-1П [3].

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

Список литературы

- [1] АРТЕМЬЕВ С. С., МАРЧЕНКО М. А., СМИРНОВ Д. Д. и др. Анализ стохастических колебаний методом Монте-Карло на суперкомпьютерах / Новосибирск: Издательство СО РАН, 2016. 294 с.
- [2] KONDAUROVA L., L'VOV V., POMYALOV A. ET AL. Structure of a quantum vortex tangle in ^4He counterflow turbulence // Physical Review B. 2014. Vol. 89. N. 1. P. 014502.
- [3] Сибирский Суперкомпьютерный Центр ИВМиМГ СО РАН. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scc.icmmg.nsc.ru/hardware.html> (дата обращения: 08.09.2019).

1.75. Спирина А.А., Шварц Н.Л., Деревщицов В.С. Решеточная Монте-Карло модель сорбции/регенерации высокотемпературного регенерируемого сорбента

Регенерируемые сорбенты CO_2 на основе оксида кальция рассматриваются в качестве перспективных материалов для связывания диоксида углерода в процессах очистки дымовых газов электростанций, ТЭЦ и процессах газификации биомассы [1]. Целью настоящей работы являлось изучение топомеханических явлений, протекающих в прямом процессе поглощения CO_2 сорбентом и в обратном процессе его регенерации.

Моделирование сорбции/регенерации сорбентов проводилось методом Монте-Карло на базе про-

граммного комплекса SilSim3D. Сферические кластеры оксида кальция имитировались с помощью трехмерной решеточной кинетической Монте-Карло модели [2]. Процессы карбонизации (сорбции CO_2) и регенерации (десорбции CO_2) сорбента моделировались с помощью обратимой реакции $\text{CaO} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{CaCO}_3$. Карбонизацию кластеров CaO проводили путем их бомбардировки молекулами CO_2 при температуре 970 К, при этом на поверхности сорбента происходило образование слоя карбоната кальция. Процесс регенерации сорбента моделировался с помощью отжига кластера CaCO_3 при температуре 1200 К.

Предложенная решеточная модель учитывает увеличение мольного объема системы, происходящее в результате образования новой фазы карбоната кальция. Показано, что в последовательном процессе сорбции/регенерации происходит уменьшение геометрической поверхности сорбента.

Работа проводилась при поддержке РФФИ (проекты № 19-43-543013, № 19-31-90023) и правительства Новосибирской области.

Список литературы

- [1] DEREVSCHNIKOV V., SEMEYKINA V., BITAR J. ET AL. Template Technique for Synthesis of CaO-Based Sorbents with Designed Macroporous Structure Microporous and Mesoporous Materials // Microporous and Mesoporous Materials. 2017. Vol. 238. P. 56–61.
- [2] SPIRINA A., NASTOVJAK A., USENKOV S., SHWARTZ N. Lattice Monte Carlo model of Langmuir evaporation of AIII BV semiconductors // Computational technologies. 2018. Vol. 23. N 6. P. 80–93.

1.76. Стамов Л.И. Численное моделирование инициирования детонации при фокусировке ударных волн

Процессы горения играют важную роль в современных двигателях различных типов. В большинстве случаев эти двигатели основаны на медленном горении или дефлаграции. Однако использование сверхзвукового режима горения или детонации в двигательных системах нового типа является весьма перспективным направлением исследований в силу его более высоких термодинамических характеристик. При этом важным вопросом является проблема инициирования детонации с минимальными затратами.

В данной работе представлены результаты трехмерного вычислительного моделирования инициирования детонации в химически реагирующей водородно-воздушной смеси при отражении и фокусировке падающей ударной волны от клинообразной и конической полостей. Проведено сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными данными, полученными в ударной трубе. На основании сравнения с экспериментом проведена корректировка разработанного про-

граммного комплекса. В зависимости от интенсивности ударной волны определено несколько режимов происходящих процессов, в том числе и переходной режим — переход от горения к детонации.

Для моделирования процессов, протекающих в ударной трубе, использовалась модель, основанная на уравнениях типа Навье — Стокса для многокомпонентной газовой смеси с учетом химических реакций. В качестве химической кинетики использовался механизм, основанный на механизме горения водорода Мааса — Поупа. Для моделирования турбулентности использовалась двухпараметрическая $k-\omega$ модель Вилкокка. Вычисление безразмерных термодинамических функций производилось с помощью аппроксимационных полиномов и специальной базы данных с полиномиальными коэффициентами для двух температурных интервалов. В работе были рассмотрены две различные численные схемы сквозного счета: схема 2-го порядка точности по пространству и времени на основе MUSCL-интерполяции переменных на грань при расчете конвективных потоков и метода AUSMP интерполяции давления и явная схема 3-го порядка точности по пространству и 2-го по времени на основе схемы Курганова — Леви, использующую CWENO реконструкцию переменных на гранях. Для решения жесткой системы уравнений химической кинетики использовался неявный метод типа Розенброка. Расчет проводился на кубической сетке.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 17-07-00549А).

1.77. Старцева Д.А. Численное решение задачи об определении размеров противопожарных разрывов при низовых лесных пожарах

В данной работе с помощью математического моделирования решается задача о возникновении и распространении низового лесного пожара и определении размеров противопожарных разрывов с учетом скорости ветра и влагосодержания лесных горючих материалов (ЛГМ). В ходе исследования были определены размеры противопожарных разрывов при наличии скорости ветра и влагосодержания лесных горючих материалов. Сформулированная выше задача сводится к решению системы нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных.

Расчётную область разбиваем на некоторое число не пересекающихся контрольных объёмов. Затем исходную систему уравнений интегрируем по каждому контрольному объёму. Полученная система алгебраических уравнений, возникающая в процессе дискретизации, решалась с помощью метода контрольных объёмов.

В ходе исследования были определены размеры противопожарных разрывов с учетом скорости ветра и влагосодержания ЛГМ.

Благодаря программному обеспечению PNOENICS разработана многофазная модель, инициирующая распространение лесного пожара и определяющая размеры противопожарного разрыва, а также учитывающая все важные физико-химические процессы: сушка, пиролиз, сжигание полукокса, турбулентное сгорание газообразных продуктов пиролиза, обмен массой, импульсом и энергией между газообразной и твердой фазой.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что с увеличением влагосодержания хвойного массива величина размера разрыва резко уменьшается и стремительно приближается к нулю. Из этого следует, что для распространения пожара через слой влажной растительности требуется больше энергии для испарения избытка воды, а также уменьшение массовой доли кислорода, возникающее в результате разбавления водяным паром перед фронтом огня, способствует тушению пламени. Увеличение влагосодержания тоже способствует уменьшению глубины огня в лесные горючие материалы.

1.78. Тагильцев И.И., Шутлов А.В. К вопросу об учёте остаточных напряжений в сварных соединениях

В представленной работе исследуется способ задания остаточных напряжений в сварных швах. Учёт преднапряжений позволяет повысить точность расчётов сварных конструкций на прочность, как в упругом, так и в упруго-пластическом режимах.

Способ учёта преднапряжений основывается на применении калибровочных полей (F0-подход) и гарантирует точное выполнение условий равновесия а также условий совместности деформаций. Подход строится в геометрически точной постановке и не основывается на предположениях о малости упругих или неупругих деформаций. В качестве иллюстрации применяемого подхода исследовано поле остаточных напряжений, возникающее в результате неравномерного нагрева основного и сварного металла. Описана процедура внедрения метода в метод конечных элементов. Решена демонстрационная задача с применением модели материала, учитывающей комбинированное изотропное-кинематическое упрочнение [1]. Для сварной конструкции в конечно-элементном комплексе MSC.MARC определён диапазон допустимых нагрузок, оценено влияние остаточных напряжений на конструктивную прочность. Установлено, что в режиме низкотемпературного деформирования, а также при исчерпании ресурса пластичности остаточные напряжения существенно влияют на прочность конструкции.

Работа поддержана грантом РФФИ 19-19-00126.

Список литературы

- [1] SHUTOV A. V., KREISSIG R. Finite strain viscoplasticity with nonlinear kinematic hardening: Phenomenological modeling and time integration // Computer methods in applied mechanics and engineering. 2008. Vol. 197 (21-24). P. 2015–2029.

1.79. Трачева Н.В. Об алгоритмах реализации индикатрисы рассеяния при моделировании переноса поляризованного излучения методом Монте-Карло

При решении задач теории переноса методом Монте-Карло возникает необходимость моделирования траекторий частиц в среде. В данной работе исследуются различные способы численной реализации нового направления движения частицы после столкновения в случае поляризованного излучения и предлагается новый алгоритм моделирования индикатрисы рассеяния.

Классический подход к моделированию нового направления рассеяния поляризованного излучения аналогичен варианту излучения без поляризации. В этом случае, азимутальный угол φ является равномерно распределенным на интервале $(0, 2\pi)$, а косинус зенитного угла μ разыгрывается по первому элементу заданной матрицы рассеяния $r_{11}(\omega_{n-1}, \omega_n)$. В случае молекулярного рассеяния существует явная формула моделирования (см., например, [1]). Для аэрозольного рассеяния можно построить кусочно-линейную аппроксимацию $r_{11}(\omega_{n-1}, \omega_n)$ и воспользоваться методом обратной функции (также, см. [1]).

Другой подход, который рассматривался, например, в работе [2], — адаптивный метод моделирования нового направления рассеяния поляризованного излучения. Данный метод подразумевает, что индикатрисой рассеяния является первый элемент смоделированного на предыдущем шаге вектора Стокса. Эту индикатрису можно представить как произведение $g(\mu, \varphi) = g_\mu \cdot g_{\varphi|\mu}$, $\mu \in (0, 1)$, $\varphi \in (0, 2\pi)$. Здесь плотность g_μ , также как и в стандартном способе моделирования, разыгрывается согласно первому элементу матрицы рассеяния $r_{11}(\omega_{n-1}, \omega_n)$, а для моделирования условной плотности $g_{\varphi|\mu}$ можно использовать мажорантный метод исключения (см. [2]).

В данном исследовании мною был построен новый алгоритм моделирования азимутального угла φ по плотности $g_{\varphi|\mu}$, основанный на «обобщении» метода обратной функции с использованием преобразования типа $\psi(x) = |x - t|$, где t — некоторая заданная точка в области определения функции. Данный алгоритм основан на теоретических результатах работ [3] и [4] и позволяет уменьшить время, затрачиваемое на реализацию одного выборочного значения φ , что приводит к ускорению расчетов при решении различных задач теории переноса поляризованного излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 17-01-00823, № 18-31-00213, № 18-01-00356).

Список литературы

- [1] MARCHUK G. I., MIKHAILOV G. A., NAZARALIEV M. A. ET AL. The Monte Carlo Methods in Atmospheric Optics / Heidelberg: Springer-Verlag, 1980. 209 p.
- [2] MIKHAILOV G. A., PRIGARIN S. M., ROZHENKO S. A. Comparative analysis of vector algorithms for statistical modelling of polarized radiative transfer process // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2018. Vol. 33. N. 4. P. 253–263.
- [3] MICHAEL J. R., SCHUCANY W. R., HAAS R. W. Generating random variates using transformations with multiple roots // The American Statistician. 1976. Vol. 30. P. 88–90.
- [4] DEVROY L. Non-Uniform Random Variate Generation / New York: Springer-Verlag New York Inc., 1986. 843 p.

1.80. Трофимова С.А., Итжина Н.Б., Шургина Э.П. Построение базиса в пространстве $H(\text{div})$ для смешанной постановки задачи Дарси

Для математического моделирования процесса фильтрации флюида используется модель Дарси, которая достаточно точно позволяет описать движение жидкости в пористой среде под действием давления [1]. Спектр приложений разнообразен и включает в себя нефтегазовую отрасль экономики. При моделировании процессов, связанных с интенсификацией и разработкой месторождений нефти и газа, возникает класс задач, которые не предусматривают определения явного поведения давления на границе области моделирования, однако задают поведение нормальной компоненты скорости. Необходимость решения такого рода прикладных задач обуславливает использование специализированных смешанных вариационных постановок.

В отличие от прямых постановок, использование смешанного метода для решения задачи Дарси позволяет сразу определить как давление, так и скорость течения флюида, при этом осуществляется поиск критической точки соответствующего функционала в конечно-элементном пространстве допустимых пробных функций, которое представимо в виде прямой суммы двух подпространств. Сложность метода состоит в том, что критическая точка функционала — седловая точка [2], т. е. решение задачи об определении минимума функционала в общем случае не единственно и для выполнения условий корректности требуется дополнительная информация. Наиболее распространенный подход — введение множителей Лагранжа или определение конечноэлементного базиса из пространства H^{div} , для которого выполнены условия Ладыженской — Бабушка — Брещи [3]. Такой подход позво-

ляет найти решение, соответствующее физике моделируемых процессов [4].

Заметим, что при решении сложных прикладных задач необходимо обоснованно подходить к выбору функциональных пространств, построению вариационной постановки, конструированию базисных систем в соответствующих функциональных пространствах, а также выбору метода дискретизации.

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

Список литературы

- [1] LEONTIEV N. E. Fundamentals of the filtration theory: Study guide / Moscow: Applied Research Centre Publ., MSU, Faculty of Mechanics and Mathematics, 2009. 88 p.
- [2] ARNOLD D. N. Mixed finite element methods for elliptic problems // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 1990. N. 82. P. 281–300.
- [3] LADYZHENSKAYA O. A. Mathematical problems of viscous incompressible fluid dynamics / M.: Science, 1970 (2nd ed.). 288 p.
- [4] MASUD A., HUGHES T. J. R. A stabilized mixed finite element method for Darcy flow // Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 2002. N. 191. P. 4341–4370.

1.81. Тукмакова Н.А., Тукмаков А.Л. Течение паракапельной смеси в коаксиальном канале с теплоизолированной стенкой

В работе рассматривается численное описание динамики полидисперсной паракапельной смеси при течении в коаксиальном канале с теплоизолированной внешней стенкой [1]. Динамика среды описывается системой уравнений движения многоскоростного многотемпературного континуума с учётом межфазного обмена импульсом и энергией. Паракапельная смесь состоит из несущей среды — газообразного метана — и дисперсной фазы. Дисперсная фаза состоит из капельных фракций метана, отличающихся по размерам.

Актуальность работы связана с разработкой модифицированного теплообменника-регазификатора [2] и необходимостью проведения численных и физических экспериментов течения паракапельной смеси в процессе регазификации. Новизна работы состоит в создании комплексной математической модели динамики паракапельной смеси в двумерной постановке, учитывающей целый ряд физических процессов, таких как дробление, коагуляцию, испарение капель и конденсацию паровой фазы.

В качестве модели дробления капель использовался механизм обдирки капель тарельчатого типа [3], процесс коагуляции капель происходил по модели Смолуховского при их парном соударении. Учитывался процесс прогрева и испарения крупных капель [3]. Равновесные конденсация пара и испарение капель мелкодисперсной фракции описаны в работе [4].

В результате расчётов были получены временные

и пространственные газодинамические характеристики паракапельного потока.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-48-160017\19).

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

Список литературы

- [1] ТУКМАКОВ А. Л., ТУКМАКОВА Н. А. Динамика полидисперсной паракапельной смеси с учётом дробления, коагуляции, испарения капель и конденсации пара // Теплофизика высоких температур. 2019. Т. 57. № 3. С. 437–445.
- [2] ТОНКОНОГ В. Г., ТУКМАКОВА Н. А., ТУКМАКОВ А. Л. Способ регазификации жидкости и установка для регазификации жидкости (патент РФ № 2691863) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2019.
- [3] АРЕФЬЕВ К. Ю., ВОРОНЕЦКИЙ А. В. Моделирование процесса дробления и испарения капель не реагирующей жидкости в высокоэнтропийных газодинамических потоках // Теплофизика и аэромеханика. 2015. Т. 22. № 5. С. 609–620.
- [4] БАЯНОВ И. М., ХАМИДУЛЛИН И. Р., ШАГАПОВ В. Ш. Об эволюции облака аэрозоля при диффузионном перемешивании с газом // Теплофизика высоких температур. 2007. Т. 45. № 5. С. 756–762.

1.82. Фомичева М.А. Моделирование движения гранулированной среды в воронкообразной дробилке

Одна из важных частей технологического процесса при создании новых гранулированных материалов (например, минеральных удобрений и пластмасс, лекарственных средств, семян), а также при обогащении горных пород, заключается в измельчении частиц гранулированного материала до определенного размера путем их дробления. Несмотря на большое количество экспериментальных данных о характере течения сыпучих материалов в различных технологических устройствах, в настоящее время не существует законченной теории движения гранулированных сред [1]. Также известно, что механические параметры сыпучих материалов зависят от характерного размера частиц, что необходимо учитывать при описании процесса дробления.

В данной работе проводится моделирование процесса измельчения гранулированной среды на основе расширенной микрополярной теории, предложенной в [2]. Особенностью данной теории является дополнительное балансовое соотношение для тензора инерции, содержащее источниковый член, который характеризует происходящие в среде структурные изменения. В работе предложено определяющее соотношение для источникового члена в зависимости от свойств материала и внешней приложенной нагрузки.

В качестве примера рассмотрено измельчение гранулированной среды в воронкообразной дробилке. Определяющее уравнение среды соответ-

стает линейно-вязкому материалу с коэффициентом вязкости, зависящем от характерного размера частиц. Решается полностью связанная задача по определению полей распределения скоростей, давлений и моментов инерции характерной частицы. Решение системы уравнений, описывающих процесс измельчения, находится численно с использованием неявных конечно-разностных схем и алгоритма Томаса. Верификация полученного численного решения производится путем сравнения с известным аналитическим решением для потока через туннель постоянного сечения под действием силы тяжести.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Вильчевская Е. Н.

Список литературы

- [1] МАРЦЕНКО М. С. Моделирование гидродинамики и процессов усреднения высококонцентрированной гранулированной среды в аппаратах порошковой технологии // автореф. дис. канд. физ.-мат. наук., Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, 2011. 144 с.
- [2] IVANOVA E. A., VILCHEVSKAYA E. N. Micropolar continuum in spatial description // Continuum Mechanics and Thermodynamics. 2016. Vol. 28. N. 6. P. 1759–1780.

1.83. Фролов О.Ю. Простая модель кристаллизации потока неньютоновской жидкости в круглой трубе

Важной особенностью полимеров является их способность кристаллизоваться. В технологиях переработки полимерных материалов последние испытывают сдвиговые напряжения, которые влияют на скорость химического превращения. Явление кристаллизации влияет на реологические характеристики деформируемого полимера. Таким образом, прогнозирование кристаллизации в течениях полимерной жидкости представляет большой практический интерес [1].

В работе показана модель формирования кристаллизационного слоя на стенках круглой трубы в изотермическом течении неньютоновской жидкости, позволяющая получить аналитическое выражение для определения толщины слоя, основываясь на некоторых допущениях [2, 3].

Рассматривается установившееся течение степенной жидкости в круглой трубе в изотермических условиях. Предполагается, что среда может либо двигаться с определенным значением эффективной вязкости, соответствующей установившемуся течению в трубе, либо находиться в затвердевшем состоянии. Эффект кристаллизации реализуется по следующему алгоритму. На входе в трубу располагается набор частиц,двигающихся в соответствии со скоростью установившегося потока. Когда время движения частицы становится равным времени начала кристаллизации, частица считается отверде-

шей и останавливается. Время начала кристаллизации для заданного класса жидкостей определяется по эмпирической формуле, предложенной авторами работы [4].

Проведена оценка толщины кристаллизационного слоя на стенках круглой трубы в диапазоне изменения степени нелинейности жидкости в реологическом законе Оствальда-де Ваале от 0.001 до 1, а также в зависимости от физических свойств жидкости.

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

Список литературы

- [1] ТОРНЕР Р. В. Теоретические основы переработки полимеров / М.: Химия, 1977. 464 с.
- [2] TANNER R., HADINATA C., LEEWO D. Behaviour of a simple crystallisation model in tube and channel flow // Rheol. Acta. 2009. Vol. 48. N. 5. P. 499–507.
- [3] MITSOULIS E., ZISIS Th. Tanner's Simple Model of Crystallization for Power-Law Fluids Extended // AIP Conf. Proc. 2014. Vol. 1593. N. 1. P. 596–599.
- [4] HADINATA C., GABRIEL C., RUELLMANN M. ET AL. Shear-induced crystallization of PB-1 up to processing-relevant shear rates // Rheol. Acta. 2006. Vol. 45. N. 5. P. 539–546.

1.84. Художиткова Д.А. О сжатии импульсов в волоконных лазерах.

Волоконные лазеры — одна из наиболее современных и активно развивающихся технологий в лазерной физике. Волоконные лазеры используются во многих областях и для различных применений требуются разные характеристики излучения. Одним из важных видов лазерной генерации является генерация ультракоротких импульсов с длительностью менее одной пикосекунды. Такие лазеры используются, например, в медицине, телекоммуникациях, спектроскопии.

Волоконный лазер — сложная многопараметрическая система, и генерация импульсов, способных хорошо сжиматься, существует в небольшой области пространства параметров. Зачастую в эксперименте сложно подобрать параметры лазера для получения наиболее эффективного сжатия импульса. В связи с этим актуальна задача математического моделирования волоконных лазеров, генерирующих ультракороткие импульсы.

В работе проведено численное моделирование волоконного лазера с резонатором в форме восьмерки. Такой лазер состоит из двух петель: активной, включающей накачку и участок пассивного волокна, и пассивной, включающей изолятор, пассивное волокно, ответвитель и спектральный фильтр. Распространение сигнала в световоде описывается нелинейным уравнением Шредингера, воздействие остальных устройств на сигнал точно на одном шаге вдоль эволюционной переменной. При изменении параметров устройств были получены раз-

личные режимы генерации лазера, в том числе импульсные. Для этих импульсов проведено численное исследование сжатия путем моделирования их распространения в линейном волноводе. Был создан итерационный алгоритм, определяющий длину световода, необходимую для наилучшего сжатия сигнала. Алгоритм был опробован на серии импульсов, полученных в эксперименте. Наилучшее сжатие (до 100 раз), как и ожидалось, было получено для chirпованных импульсов.

Созданный в данной работе алгоритм сжатия импульсов универсален, то есть может применяться для моделирования сжатия любых импульсов. Поэтому в дальнейшем алгоритм будет использоваться для решения оптимизационных задач волоконной оптики с помощью эволюционных алгоритмов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-71-20082).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Федорук М. П.

1.85. Чуруксаева В.В. Математическое моделирование подтопления прибрежных территорий при вскрытии реки ото льда

В последние десятилетия на реке Томь вблизи города Томска вновь начали наблюдаться ледовые заторы, которые вызывают значительный подъем уровня воды в реке и затопление территорий в пойме. Таким образом, прогнозирование возможного появления зон локального затопления во время весенних паводков является актуальной задачей. 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].

В начальный момент времени предполагается, что река течет подо льдом. Дополнительное сопротивление со стороны ледяной крышки потоку задается увеличением коэффициента трения потока о русло. Предполагается, что в определенный момент после установления течения, река вскрывается внезапно на всей исследуемой области и ледяная крышка становится континуумом ледяных частиц с некоторым характерным размером.

Проведены вычислительные эксперименты по исследованию затопления р. Томь прибрежных территорий в результате резкого подъема уровня воды или вскрытия реки перед началом ледохода. Анализ полученных результатов показал, что разработанная модель правильно предсказывает подтопление низин и островов, связанное с увеличением уровня воды и увеличением сопротивления потоку со стороны ледяных частиц.

В результате проведенных расчетов выявлены прибрежные области, которые будут подтоплены в зависимости от уровня воды до вскрытия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта 18-31-00386.

Список литературы

- [1] ЧУРУКСАЕВА В. В., СТАРЧЕНКО А. В. Численное исследование двухфазного течения жидкости с легкими частицами в открытых каналах // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2016. № 6 (44). С. 88–103.

1.86. Шелопут Т.О., Лёзина Н.Р. Восстановление граничной функции по данным о баротропных скоростях для задачи распространения поверхностных волн в акватории с открытой границей

Настоящая работа посвящена исследованию и численному решению обратной задачи о восстановлении неизвестной граничной функции по данным о баротропных скоростях. Такая задача возникает при моделировании гидротермодинамики в акваториях с жидкими границами, а проблема учета жидких границ является актуальной для разработчиков региональных моделей и моделей окраинных морей.

Существуют различные приближения, которые используются для учета жидких границ в моделях. При наличии данных наблюдений за состоянием морской акватории ассимиляция данных является одним из подходов к решению проблемы открытых границ. В работе [1] сформулирован класс обратных задач и задач вариационной ассимиляции данных, связанных с моделированием гидротермодинамических полей в акваториях с жидкими границами. В рамках данного подхода функции в граничных условиях на жидких границах, характеризующие влияние Мирового океана на рассматриваемую акваторию, считались неизвестными. Тот же подход использован и в настоящей работе.

В данной работе проведено исследование и предложен алгоритм решения обратной задачи о восстановлении неизвестной граничной функции по данным о баротропных скоростях на жидкой границе с использованием методов теории оптимального управления и сопряженных уравнений [2]. Приведены результаты численных экспериментов по использованию алгоритма для модельной области. Проведено сравнение алгоритма с предложенным в работе [3] при использовании гладких данных наблюдений и искусственно «зашумленных» данных наблюдений (в эксперименте с «зашумленными» данными функционал штрафа был выбран в соответствии с работой [4]). Также рассмотрена обратная задача о восстановлении граничных функций на внешних и внутренних жидких границах, где под внешней жидкой границей подразумевается граница, отделяющая рассматриваемую акваторию от Мирового океана, а под внутренней — граница, которая вводится при использовании метода разделе-

ния области [5]. В работе проведено теоретическое исследование обратной задачи, в том числе доказана однозначная и плотная разрешимость, а также сформулирован итерационный алгоритм ее решения. При использовании алгоритма решение задач в подобластях может осуществляться независимо (параллельно). Данный алгоритм может быть интерпретирован как применение метода разделения области к задаче вариационной ассимиляции данных о баротропных скоростях. Для иллюстрации результатов теоретических исследований приведены численные эксперименты для модельной задачи и представлены их результаты.

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

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

Список литературы

- [1] AGOSHKOV V. I. Statement and study of some inverse problems in modelling of hydrophysical fields for water areas with 'liquid' boundaries // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 2017. Vol. 32. N. 2. P. 73–90.
- [2] Агошков В. И. Методы оптимального управления и сопряженных уравнений в задачах математической физики / М.: ИВМ РАН, 2016. 244 с.
- [3] AGOSHKOV V. I. Inverse problems of the mathematical theory of tides: boundary-function problem // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 2005. Vol. 20. N. 1. P. 1–18.
- [4] ДЕМЕНТЬЕВА Е. В., КАРЕПОВА Е. Д., ШАЙДУРОВ В. В. Восстановление граничной функции по данным наблюдений для задачи распространения поверхностных волн в акватории с открытой границей // Сибирский журнал индустриальной математики. 2013. Т. 16, № 1. С. 10–20.
- [5] AGOSHKOV V., LEZINA N., SHELOPUT T. Domain Decomposition Method for the Variational Assimilation of the Sea Level in a Model of Open Water Areas Hydrodynamics // Journal of Marine Science and Engineering. 2019. Vol. 7. N. 6 (195).

1.87. Шербанюк П. К. Оптимизация формы лопасти рабочего колеса гидротурбины

В ходе эксплуатации гидроэлектростанций наибольшее влияние со стороны потока жидкости подвержено рабочее колесо гидротурбины. Работа в зонах повышенной мощности часто сопровождается кавитационными явлениями, которые негативно влияют на конструкцию гидротурбины, вызывают эрозию и шумы. Повышение кавитационного качества, а также энергетических характеристик рабочего колеса гидротурбины являются приоритетными задачами при проектировании новых проточных частей, а также при замене старых рабочих колес. В настоящее время для решения этих задач применяется численное моделирование.

Математическая модель состоит из уравнений Навье — Стокса, а также, в случае учета кавитации, уравнений переноса объемной доли жидкости с ис-

точниковыми членами, отвечающими за конденсацию и парообразование. Оптимизация проводится с помощью генетического алгоритма. Геометрия исходной лопасти параметризуется при помощи 16 угловых параметров, 8 параметров RZ-проекции и 6 параметров, отвечающих за толщину лопасти. В ходе оптимизации каждый из этих параметров варьируется, таким образом получаются новые формы рабочих колес. Как правило в оптимизации рассматриваются две режимные точки: близко к точке оптимума и на повышенной мощности. В первом режиме максимизируется КПД, во втором минимизируется кавитация.

Алгоритм применен для радиально-осевых и поворотно-лопастных турбин. В докладе рассматриваются несколько ГЭС, показаны результаты в каждом конкретном случае. Показано, что оптимизационное проектирование способно улучшить энергетические характеристики лопасти, а также улучшить кавитационное качество. Рассказано о различных постановках и выборе функционалов для каждой задачи. Приводятся сравнения исходных форм лопастей с полученными в оптимизации. Показано, что оптимизационное проектирование является эффективным способом получения новых рабочих колес, обладающих необходимыми качествами.

1.88. Шербанюк А. М., Хоров Д. В. Разработка средств проведения вычислительных экспериментов при расчете жестких задач

В современных программных комплексах чаще применяются неявные методы решения дифференциальных задач с начальными условиями, что не всегда оправдано с точки зрения вычислительных затрат. В случае жестких задач большой размерности более предпочтительным будет применение явных методов типа Рунге — Кутты. Однако современные алгоритмы на основе явных методов обладают сравнительно небольшими областями устойчивости. Поэтому актуальной является задача использования явных схем с расширенными областями устойчивости [1].

В [2] разработан алгоритм определения коэффициентов полиномов устойчивости, при которых метод имеет заданную форму и размер области устойчивости. На основе коэффициентов полинома можно построить метод для решения жестких задач.

Известно, что чем шире интервал устойчивости метода, тем более эффективно им можно проводить расчеты жестких задач. Тем не менее, в ходе реализации программного комплекса авторы столкнулись с проблемой, когда с увеличением количества стадий (а значит и длины интервала устойчивости) с определенного момента численный алгоритм перестает показывать повышение эффективности и более того, совокупные вычислительные затраты на-

чинают расти. Это может быть обусловлено двумя факторами: происходит накопление ошибок при вычислении решения задачи либо изначально коэффициенты метода получены неточно, что означает, что фактический интервал устойчивости метода уже величины, полученной в теоретических расчетах.

Здесь представлена система, которая включает средства проведения вычислительных экспериментов при расчете жестких задач. Систем обеспечивает контроль и мониторинг глобальной ошибки и отображение статистики работы алгоритма в момент расчета задачи, что позволяет в реальном времени наблюдать и оценивать работу алгоритма численного решения задач. Описанные возможности позволили разработать критерии выбора размера шага интегрирования и, как следствие, создать более эффективные алгоритмы, где изменение шага интегрирования происходит более оправданно в зависимости от оценки глобальной ошибки в момент работы алгоритма.

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

Научный руководитель — Рыбков М. В.

Список литературы

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

1.89. Якишина Д.Ф., Голубева Е.Н. Исследование влияния атлантических вод на состояние ледового покрова в Евразийском бассейне Северного Ледовитого океана с помощью численного моделирования

Выделяют несколько причин, вызывающих прямую или косвенно сокращение ледового покрова. В первую очередь это, конечно, тепловое воздействие со стороны атмосферы [1, 2], температура которой последние десятилетия показывает устойчивый тренд на повышение. Усиление ветровой циркуляции в меридиональном направлении способствует выносу льда за пределы Северного Ледовитого океана и, следовательно, уменьшению общей площади ледового покрова [2]. Также нельзя не учитывать влияние со стороны океана. По недавним оценкам [3] в восточной части Евразийского бассейна произошло увеличение в 2-4 раза зимнего восходящего потока тепла от слоя атлантических вод с 2007 по 2014-2015 гг., и размеры таяние льда, обусловленного потоками от атлантических вод стали сравнимы с размерами таяния льда, обусловленного атмосферным термодинамическим воздействием.

В настоящей работе производится выявление физических механизмов, определяющих изменчивость состояния ледового покрова на основе численного моделирования. Для исследования использова-

лась совместная региональная численная модель океан — лёд Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана SibCIOM, разработанная в ИВМиМГ СО РАН. В процессе исследования анализируются тепловые потоки на ледовой границе со стороны океана и со стороны атмосферы, рассчитываются коэффициенты корреляции этих потоков с объемом льда в регионе. Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии на арктический лед тепла, поступающего от океана вдоль траектории прохождения теплых атлантических вод.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, грант № 17-05-00382 с использованием ресурсов ЦКП Сибирский Суперкомпьютерный Центр ИВМиМГ СО РАН, при поддержке программы президиума РАН № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования».

Список литературы

- [1] Polyakov I., Timokhov L., Alexeev V. et al. Arctic Ocean warming contributes to reduced polar ice cap // J. Phys. Oceanogr. 2010. Vol. 40. P. 2743–2756.
- [2] Иванов В. В., Алексеев В. А., Алексеева Т. А. и др. Арктический ледяной покров становится сезонным? // Исследование Земли из космоса. 2013. № 4. С. 50–65.
- [3] Polyakov I. V., Pnyushkov A. V., Alkire M. V. et al. Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean // Science. 2017. Vol. 356 (6335). P. 285–291.

1.90. Янчкова Г.С., Хе А.К., Богомякова О.Б., Тулунов А.А. Численное моделирование гидроцефалии на основе теории порупругости

Мозг является самым сложным органом, работа которого до конца не изучена. Также не до конца ясны механизмы, обеспечивающие его жизнедеятельность. Одним из специфических для мозга явлений является течение цереброспинальной жидкости.

Цереброспинальная жидкость (ЦСЖ, ликвор) заполняет желудочки головного мозга, а также субарахноидальные пространства головного и спинного мозга. Некоторые заболевания центральной нервной системы изменяют характер течения ликвора, что, в свою очередь, может привести к изменениям в головном мозге. Важным примером является гидроцефалия, при которой желудочки головного мозга увеличиваются, что приводит к смещению и сдавливанию мозговой ткани. Это состояние хорошо описано с точки зрения клинических проявлений, но его причины и развитие плохо изучены.

Одним из основных методов прижизненного изучения ликворной системы человека является магнитно-резонансная томография (МРТ). Методика МРТ успешно применяется для неинвазивной количественной и качественной оценки дина-

мики ликвороциркуляции как в норме, так и при патологии [1]. С помощью фазоконтрастной МРТ-томографии в МТЦ СО РАН были проведены исследования ликвороциркуляции и церебрального кровотока у пациентов с гидроцефалией. На основе интегральных МРТ данных о потоках ликвора и крови (как артериальной, так и венозной), с использованием аналогичной [2] многофазной модели поропругости для вещества мозга предложена комплексная модель церебральной ликвородинамики человека.

Данная модель описывает градиенты внутричерепного давления, динамику крови и ликвора и смещения стенок желудочков мозга в нормальных и патологических состояниях, таких как гидроцефалия. Рассмотренная модель позволяет описать как здоровое состояние организма, так и состояние организма при гидроцефалии и переход, осуществляющийся между ними при изменении параметров модели. Поведение модели коррелирует с поведением реальных механизмов гемодинамики.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-11-01156).

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

Список литературы

- [1] АКНМЕТЗЯНОВ В. М., КРЕМНЕВА Е. И., МОРОЗОВА С. Н. ET AL. Magnetic resonance imaging in evaluation of the cerebrospinal fluid system in normal with various diseases of the nervous system // REJR. 2018. Vol. 8. P. 145–166.
- [2] TULLY B., VENTIKOS Y. Cerebral water transport using multiple-network poroelastic theory: application to normal pressure hydrocephalus // J. Fluid Mech. 2011. Vol. 667. P. 188–215.

1.91. Япаров Б. Я., Оженов А. О., Хамзин С. Ю. Математическое моделирование кальциевого спарка в сердечной клетке при различных взаимных расположениях риаинодиновых рецепторов

Ионы кальция играют ключевую роль во многих клеточных процессах, в частности, в сокращении сердечных клеток. Внутриклеточную кальциевую динамику определяют кальциевые спарки (КС), локальные высвобождения ионов кальция из саркоплазматического ретикулума (СР) (внутриклеточного кальциевого депо) через риаинодиновые рецепторы (RyR). Нарушение кальциевой динамики в сердечных клетках приводит к аритмиям и острой сердечной недостаточности [1]. Таким образом, исследование КС важно, в том числе, для глубокого понимания заболеваний сердца.

Недавние экспериментальные работы [2, 3] показали, что RyR имеют неравномерное распределение на мембране СР, что опровергло предыдущие представления о формировании RyR-ами квадратной решётки на мембране СР. Для исследования возможного влияния этого фактора на амплитуду

и кинетику КС была разработана математическая модель КС, позволяющая учесть неоднородное расположение RyR на мембране СР. Кальциевая динамика внутри СР и диадного пространства описывалась уравнениями реакции-диффузии на плоскости. Кальций из СР попадает в диадное пространство через открытые RyR, функционирование которых (открытие/закрытие) является стохастическим и описывалось в данной работе марковской цепью с двумя состояниями.

Для исследования модели было создано приложение на языке C++. Численное решение уравнений реакции-диффузии искалось явным методом на GPU с использованием CUDA. Стохастическая динамика RyR изучалась методом Монте-Карло на CPU.

Результаты моделирования показали, что расположение RyR на мембране СР значительно влияет на характеристики КС. Были найдены количественные зависимости характеристик КС от параметра λ_{max} [4], характеризующего «кучность» RyR на мембране СР, которые качественно можно описать следующим образом: «кучность» RyR увеличивает амплитуду КС и уменьшает время достижения амплитуды кальциевого спарка.

Результаты математического моделирования призваны помочь в исследовании электромеханического сопряжения в сердечных клетках, что играет важную роль в персонализированном лечении сердечно-сосудистых заболеваний на молекулярном уровне.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-31-00153).

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

Список литературы

- [1] BELEVYCH A., RADWANSKI P., CARNES C., GYORKE S. ‘Ryanopathy’: causes and manifestations of RyR2 dysfunction in heart failure // Cardiovasc Res. 2013. Vol. 98. N. 2. P. 240–247.
- [2] ASGHARI P., SCRIVEN D., SANATANI C. ET AL. Nonuniform and Variable Arrangements of Ryanodine Receptors Within Mammalian Ventricular Couplons // Circ Res. 2014. Vol. 115. N. 2. P. 252–262.
- [3] JAYASINGHE I., CLOWSLEY A., LIN R. ET AL. True Molecular Scale Visualization of Variable Clustering Properties of Ryanodine Receptors // Cell Rep. 2018. Vol. 22. N. 2. P. 557–567.
- [4] IAPAROV B., MOSKVIN A., SOLOVYOVA O., KHAMZIN S. Mathematical modeling shows the frequency of Ca^{2+} sparks in cells depends on the ryanodine receptor’s arrangement // Procedia computer science. 2017. Vol. 119. N. 1. P. 190–196.

2. Информационные технологии

2.1. *Samuel Ragland Francis N., Samuel Ragland Francis N. Bronchopulmonary Segment Identification by detecting fissures through Segmentation*

In this research, lung fissures are identified through binary morphing and Nearest Neighbor algorithm. Then, namely R Mask and U-Net neural networks are combined to identify segments within these fissures. Keras and Shadowing techniques are also used to extract only required features of the lung image and pass them as the data set into the CNN. The main reason for carrying out this research is to make the work of radiologists more simpler. This in turn helps in developing applications that could aid a radiologist in making a better and faster diagnosis. Identification of lung fissure helps in identifying the three main lobes of the lungs. These lobes can then be further segmented to identify bronchopulmonary lung segments.

Since fissures are very prominent in lung images they are identified using the nearest neighbour algorithm. As the fissure line can be seen, the nearest neighbour is identified using Locality Sensitive Hashing Algorithm. Morphological filters are applied to make these fissures more clear.

If the lung image is B with a radius R , the fissure area is calculated using the formula:

$$B(v, r) = q|D(v, q) \leq r,$$

where D is the dataset of pixels, q is the query point that outputs the point v for every dataset.

The shadowed area within each fissure is identified to find segments within a fissure. This fissure is then taken as the data set and sent to R-Mask CNN and the model is trained to identify the specific segments. During the second convolution U-Net along with Keras is used to reduce the commutation time and the amount of space used by the CNN.

Segments are identified more precisely and clearly. However, due to the interaction between two neural networks, there is a small loss in output pixels. The accuracy of bronchopulmonary lung segmentation is rather high as fissures provide a smaller area to detect and analyze segments. Moreover, training data using the shadowing technique displays a clearer output. Hence output loss O_l is:

$$O_l = L_U + L_R,$$

where L_U is the U-net loss and L_R is the R-mask loss.

2.2. *Samuel Ragland Francis N., Samuel Ragland Francis N. Analysis and Detection of Lung Nodules in Pulmonary Fibrosis with Deep Learning Techniques*

In this research, an improved algorithm to rectify defects where datasets of different textures can be used.

This is solved by using the PSPNet. This method learns from attempted failures which helps the performance in complex scene parsing. In this stage a number of common datasets are grouped according to their similarities are also trained and then summarized. The data sets are then inputted into the system.

In order to fuse the features of four different pyramid scales, the pyramid pooling method is used. The pyramid is denoted by N and then reduced to a $1/N$ by dimension. The feature extraction stage is where the pixels are manipulated using the neighboring algorithm to display any nodules. The four levels of the pyramid module help to find the regions of fibrosis in detail. This is then concatenated with the original image to get the final output.

The CT data sets goes through the process of Binary image morphing to understand the structure of the image. The fuzzy logic technique is then applied to detect any intricacies of fuzziness. To study various aspects such as distance and the pixel variation, the k nearest algorithm is used.

The hinge loss in the process is determined as:

$$l(p^i, p^{i+}, p^{i-}) = \max(0, g + D(f(p^i), f(p^{i+})) - D(f(p^i), f(p^{i-}))),$$

where D is the Euclidean Distance, p^i, p^{i+}, p^{i-} is the query, positive and negative image and g is the parameter that regulates the gap.

2.3. *Архипов П.Е., Пахомова К.И. Применение теории рекомендательных систем для разработки сервиса по учету кинематографических предпочтений пользователя*

На сегодняшний день существует огромное количество интернет-сервисов, предоставляющих услуги по поиску, ранжированию и информированию пользователей о существующих кинематографических единицах. Самыми популярными среди них являются «Кинопоиск», «ivi.ru». Каждый из этих сервисов обладает определенным набором достоинств и недостатков, где к достоинствам можно отнести онлайн-просмотр понравившейся картины и обширный выбор как зарубежных, так и отечественных фильмов. Недостатками является их узконаправленность, другими словами, контент ограничен набором жанров, а также существует ограниченное количество сервисов, предоставляющих просмотр как сериалов, так и полнометражных фильмов. Можно выделить значительный нюанс — отсутствие мультязычности.

Вследствие стремительного увеличения интереса интернет-пользователей к кинематографическому контенту, в данной работе будет описан прототип информационной системы рекомендации кинофильмов, состоящей из парсер-модуля (синтаксический анализатор интернет-страниц), реляционной

базы данных и модуля бизнес-логики, включающий рекомендательный подход. При разработке данной системы учитывались нюансы и недостатки существующих интернет-сервисов [1, 2].

Описываемая система представляет собой веб-портал, где зарегистрированный пользователь сможет из множества кинематографических единиц выбрать наиболее интересующие, оценить их, отметить как просмотренные или отложить в список желаемых. Наиболее важным моментом является алгоритм предоставления рекомендаций по историческим данным (ранее просмотренного контента) пользователя [3], рекомендации строятся на основе популярных жанров конкретного пользователя — фильтрация на основе содержания [4].

Разработанная информационная система реализует следующую функциональность:

- регистрация пользователей, создание рабочей области с логином и паролем;
- просмотр списка фильмов, хранящихся в базе данных и выбранных пользователем;
- поиск и фильтрация фильмов по названию и жанру;
- оценка фильмов, по шкале от 1-5 баллов;
- просмотр списка рекомендаций.

Итогом работы является применение теории рекомендательных систем к задаче рекомендации фильмов. Разработанная информационная система имеет клиентскую часть — интерфейс пользователя, серверную часть — сформированную базу данных, с данными, полученными из популярного киносервиса, и логику, отвечающую за расчет рекомендаций.

Данная работа имеет будущий потенциал, в частности, планируется реализовать алгоритм коллаборативной фильтрации и SVD-метод для предоставления более точных и актуальных рекомендаций [5], а также объединить данные социальных сетей с существующим сервисом.

Список литературы

- [1] Ильина К. В., Дергачев А. М. Контентная фильтрация в рекомендательных системах // Тр. Конгресса молодых ученых, 2017.
- [2] Пахомова К. И. Рекомендательная система поведенческой модели интересов пользователей геосоциальных сетей // Тр. Всерос. форума «Наука будущего — наука молодых», 2017.
- [3] Su X., Khoshgoftar T. M. A Survey of Collaborative Filtering Techniques [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hindawi.com/journals/aai/2009/421425/> (дата обращения 12.08.2019).
- [4] Кутянин А. Р. Рекомендательные системы: обзор основных постановок и результатов // Интеллектуальные системы. Теория и приложения. 2017. Т. 21. № 4. С. 18–30.
- [5] Phonexay V., Doo-Soon P., Khamphanphone X., Fei H. An Efficient movie recommendation algorithm

based on improved k-clique // Human-centric Computing and Information Sciences. 2018. Vol. 8. N. 1. P. 1–15.

2.4. Ахметьянова А.И. Программное обеспечение для конструирования гомодесмических реакций химических соединений

Основная цель нашей работы — это создание программного обеспечения, которое будет содержать инструменты и методы для высокоточного расчета термодинамических величин органических соединений. Основой для создания алгоритма расчета стала теоретико-графовая интерпретация химических соединений при моделировании участников гомодесмической реакции (ГДР) [1]. В связи с тем, что выбор ГДР для различных соединений не является однозначным, нами был разработан алгоритм конструирования базиса ГДР, основанный на реакции разделения групп. Алгоритм, опирающийся на теорию графов, ранее апробирован на тестовом наборе линейных органических соединений [2]. Основными достоинствами данного подхода является повышение достоверности прогноза, а также возможность критического анализа и отсеивания ненадежных экспериментальных значений энтальпии образования реперных соединений теории графов дает возможность автоматизировать процедуру выделения базиса ГДР, а также получить наглядную геометрическую интерпретацию базиса, что немаловажно для дальнейшего физико-химического анализа. Алгоритм конструирования базиса ГДР для химического соединения был описан нами в предыдущих работах [4].

В результате разработанная программа выводит базис ГДР, энтальпии образования исследуемого соединения, а также отклонение расчетных данных от экспериментальных. В настоящее время мы работаем над усовершенствованием созданного программного комплекса для определения базиса ГДР ациклических и циклических органических соединений и расчета энтальпий образования.

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

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

Список литературы

- [1] Зиганшина Ф. Т., Ахметьянова А. И., Исмагилова А. С. и др. Теоретико-графовый метод определения гомодесмических реакций для циклических химических соединений // Системы управления и информационные технологии. 2018. Т. 74. № 4. С. 72–77.
- [2] Хурсан С. Л., Исмагилова А. С., Ахмеров А. А., Спивак С. И. Конструирование

гомодесмических реакций для расчета энтальпий образования органических соединений // Журнал физической химии. 2016. Т. 90. № 4. С. 569–575.

- [3] KHURSAN S., ISMAGILOVA A., SPIVAK S. Graph Theory Method for Determining the Basis of Homodesmic Reactions for Acyclic Chemical Compounds // Doklady Physical Chemistry. 2017. Vol. 474. N. 2. P. 99–102.
- [4] ХУРСАН С. Л. Сопоставительный анализ теоретических методов определения термодимических характеристик органических соединений // Вестник Башкирского университета. 2014. Т. 19. № 2. С. 395–401.

2.5. Беляев И.А. Модели международной торговли при монополистической конкуренции и нелинейных производственных издержках: сравнительная статика по транспортным издержкам

Исследуется модель международной торговли Диксита – Стиглица – Кругмана [1, 2]. Эта модель описывает влияние экономии от масштаба на монополистическую конкуренцию в международной торговле. Востребованность в изучении таких моделей состоит в том, что это не только абстрактная теоретическая модель, но и довольно часто встречающийся тип рынка, который характерен, в частности, для пищевой промышленности, производства обуви и одежды, мебельной промышленности, розничной торговли, многих видов услуг ряда других областей. Исследование этой модели позволяет не только объяснить процессы, происходящие в современной экономике, но и спрогнозировать ее дальнейшее развитие.

В данной работе изучается ситуация рыночного равновесия для случаев свободы торговли и автаркии. Некоторые результаты работы [3] обобщаются на случай нелинейных производственных издержек.

Модель монополистической конкуренции основывается на следующих предположениях:

- фирмы-производители производят товары одинаковой природы, но не полностью взаимозаменяемые;
- каждая фирма производит один вид товарного разнообразия — свой бренд — и устанавливает его цену;
- число фирм достаточно велико;
- фирмы входят на рынок до тех пор, пока их прибыль положительна.

В этой работе рассматривается модель монополистической конкуренции по отношению к торговле двух стран, различающихся по численности населения.

В свободе торговли, эластичность заработной платы зависит только от размера страны и меры вогнутости Эрроу – Пратта функции полезности u [4]. Более того, монотонность размера фирмы и число фирм зависит только от монотонности меры Эрроу – Пратта функции u . Что касается автаркии,

то это может быть только при увеличении меры Эрроу – Пратта функции u .

Можно сделать вывод, что если мера Эрроу – Пратта функции u возрастает, то:

- в свободе торговли: размер фирмы растет, в то время как число фирм уменьшается;
- в автаркии: размер фирмы уменьшается, а число фирм растет.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 18-010-00728 и № 19-010-00910).
Научный руководитель — к.ф.-м.н. Быкадоров И. А.*

Список литературы

- [1] DIXIT A., STIGLITZ J. Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity // American Economic Review. 1977. Vol. 67. N. 3. P. 297–308.
- [2] KRUGMAN P. Increasing returns, monopolistic competition and international trade // Journal of International Economics. 1979. Vol. 9. N. 4. P. 469–479.
- [3] BYKADOROV I., ELLERO A., FUNARI S. ET AL. Painful Birth of Trade under Classical Monopolistic Competition // National Research University Higher School of Economics, Basic Research Program Working Papers, Series: Economics, WP BRP 132/EC/2016.
- [4] ZHELOVODKO E., KOKOVIN S., PARENTI M., THISSE J.-F. Monopolistic competition in general equilibrium: Beyond the Constant Elasticity of Substitution // Econometrica. 2012. Vol. 80. N. 6. P. 2765–2784.

2.6. Борзилова Ю.С. Разработка поисковой оболочки информационной системы комплексного анализа художественных текстов

Актуальной проблемой гуманитарных исследований остаются задачи, связанные с автоматизацией анализа художественных текстов. В Институте вычислительных технологий СО РАН ведутся работы по данной тематике [1]. В их рамках строится информационная система, на вход которой подается корпус художественных текстов, на выходе пользователь получает характеристики этих текстов, согласно иерархии, описанной в [2] и их отображение в пользовательском интерфейсе. Выходные данные являются прямым объектом исследования для специалистов, осуществляющих исследования текстов, поэтому важной задачей является создание инструмента поиска в данной информационной системе.

Полученные данные хранятся в базе данных информационной системы, доступ к которой организован посредством веб-интерфейса. Требования к поисковой оболочке строились на следующих принципах:

- соответствие иерархии, описанной в [2];
- учет требований, предъявляемых экспертом-филологом;
- следование общим принципам UX/UI [3].

Основным источником требований для проектирования поисковой оболочки являлось проведение ряда интервью с экспертом-филологом. Разработка проходила в несколько итераций.

В процессе первой итерации определялась совокупность минимальных необходимых полей для поиска с учетом существующей структуры системы: поиск по названию, автору, жанру, добавление сортировки выводимых данных и т. д.

В процессе второй итерации выявлены требования по добавлению контекстного поиска, поиска по нескольким однотипным характеристикам одновременно, разделение поиска на простой и расширенный. Дополнительно добавлено требование функциональности сохранения поиска.

В процессе третьей итерации выполнено упорядочивание полей формы и добавление справки по отображаемому данным.

Каждая итерация включала в себя интервьюирование, формализацию полученных требований, проектирование макета (если требование подразумевало под собой реализацию новых визуальных элементов), реализацию требований в конечном веб-интерфейсе. Результат каждой из итераций демонстрировался для дальнейшей оценки эксперту-филологу.

Использование разработанной поисковой оболочки для системы позволит расширить возможности пользователей: от визуализации данных по определенным фильтрам (запросам) до опровержения или подтверждения статистических гипотез.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-27001.

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

Список литературы

- [1] БАРАХНИН В. Б., КОЖЕМЯКИНА О. Ю., ЗАБАЙКИН А. В., ХАЯТОВА В. Д. Автоматизация комплексного анализа русского поэтического текста: модели и алгоритмы // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. 2015. Т. 13. № 3. С. 5–18.
- [2] БАРАХНИН В. Б., КОЖЕМЯКИНА О. Ю., РЫЧКОВА Е. В. и др. Извлечение лексических и метроритмических признаков, характерных для жанра и стиля и их комбинаций в процессе автоматизированной обработки текстов на русском языке // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. Т. 14. № 4. С. 888–895.
- [3] LYNCH P., HORTON S. Web Style Guide [Электронный ресурс]. URL: <https://www.webstyleguide.com/> (дата обращения 27.08.2019).

2.7. Видман В.В. Повышение эффективности распознавания эмоций: критерий Фишера в SVM модели

Распознавание эмоций стало важной областью исследований в области взаимодействия человека

с компьютером — существует растущая потребность в автоматических системах распознавания эмоций. Нейронные сети играют большую роль в системах распознавания эмоций. В мире разработано множество различных сетей, способных распознавать эмоции из речи и одним из наиболее распространенных типов является модель, основанная на методе опорных векторов (SVM). Одной из проблем при использовании сетей SVM является снижение точности при наличии различных эмоций в одном повествовании. Это связано с тем, что некоторые эмоции слабо различимы, к примеру, «страх» и «грусть». Поскольку речь часто имеет множество чередующихся эмоций, при обучении нейронных сетей их параметры не сильно отличаются друг от друга и это значительно снижает эффективность распознавания эмоций.

С целью решить эту проблему были проведены исследования, при которых в модели опорных векторов на этапе выбора признаков использовался критерий Фишера для фильтрации параметров. Дерево решений SVM реализовано в два этапа классификации: первый этап грубой классификации и второй — точной классификации. Таким образом, реализуя модель SVM в два этапа, получилось уменьшить количество значимых параметров и улучшить точность распознавания. Тесты проводились на базе эмоций IEMOCAP. При использовании модели из-за уменьшения размерности объектов распознавания на 9% увеличилась скорость при распознавании из речи. Наибольшая точность распознавания эмоций из речи была равна 55.65%. С помощью разработанной SVM модели точность возросла до 61.03%. В случае, если эмоции извлекались из речи и видео, точность возросла с 71.04 до 73.13 процента, скорость при этом увеличилась на 12.4%.

Для подтверждения результатов тесты были проведены на Берлинской базе EMO-DB, и результат по точности был на 1.55% больше, скорость при этом увеличилась в среднем на 5.13%. Различия в увеличении точности связаны с более ярким выражением эмоций в EMO-DB.

Поскольку предложенная модель улучшает распознавание эмоций благодаря более четкому разделению параметров, то и разные эмоции распознаются с разной точностью. Лучше всего распознаются эмоции «злость» и «счастье» — их точность увеличилась примерно на 10%. При этом «страх» также стал распознаваться лучше почти на 5%, а «грусть» — на 2%. Меньше всего результат заметен на эмоциях грусти и на нейтральном состоянии. Точность их распознавания увеличилась от 0.5 до 1%.

Исследование показало, что разработанный метод позволяет уменьшить влияние одних эмоций на другие в рамках одного повествования. Это позволяет увеличить точность и скорость распознавания эмо-

ций. В дальнейшем планируется провести дополнительные исследования.

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

2.8. Гончаров А.С. Разработка алгоритма автоматизированного поиска аномальных значений параметров промышленных манипуляторов

В современных цифровых производственных средах огромные наборы данных массово генерируются из многих задействованных областей и источников. Источниками данных могут служить датчики, оптические сенсоры, контроллеры приводов, камеры слежения и т. д. Постоянно растущие объемы получаемых данных могут являться источником полезной информации, позволяющей повысить производительность всего производственного процесса, за счет ее последующего анализа.

Своевременное получение и обработка данных позволяет наиболее эффективно разрабатывать стратегии по эксплуатации, поддержке, техническому обслуживанию и ремонту основных средств. При анализе программного обеспечения мониторинга состояния промышленного оборудования ведущих производителей робототехнических систем [1–3] была выявлена следующая общая функциональность:

- Мониторинг текущих параметров оборудования;
- Архивация данных;
- Оценка состояния оборудования;
- Удаленный доступ к функциям/режимам работы оборудования.

Основной целью настоящей работы является разработка алгоритма, позволяющего выявлять отклонения физических параметров во время работы промышленного манипулятора. Аномальные значения в наборе данных могут быть представлены в виде выбросов, сдвигов, изменений характера распределения или отклонения от «сезонного» значения [4]. Нормальными значениями параметров промышленных манипуляторов являются значения, возникающие при штатной работе оборудования, то есть при соблюдении условий эксплуатации и в рамках заданной оператором программы выполнения. Значения при работе оборудования, выходящие за рамки нормы, зачастую являются следствиями возможных неполадок оборудования либо незапланированного влияния извне. Для анализа аномальных значений в работе оборудования были выбраны следующие параметры:

- Значение тока по осям манипулятора (%);
- Номер выполняемой операции в программе манипулятора;
- Масса дополнительной нагрузки (кг).

Основные этапы алгоритма поиска отклонений:

1. Расчет среднего значения токов по осям в рамках одной выполняемой операции;
2. Получение «коридора» возможных значений (верхняя и нижняя граница значений токов при работе манипулятора с грузами разной массы) посредством отбора перечня максимальных и минимальных средних значений тока по операциям;
3. Получение максимальных и минимальных значений токов для операций со всеми значениями массы дополнительного груза.

Таким образом алгоритм производит построение гибкого «коридора» допустимых физических значений параметров при работе промышленного манипулятора, в отличие от штатного программного обеспечения «KUKA Connect», обозначающее предельно допустимые границы значений одинаковые для всех операций и осей манипулятора.

В настоящей работе приведен анализ средств мониторинга текущего состояния промышленных манипуляторов, так же применяемых для прогнозирования технического обслуживания оборудования. Для получения экспериментальных данных были проведены опыты на роботизированном манипуляторе «KUKA» с различными нагрузками. Разработан и применен алгоритм для мониторинга отклонений параметров работы оборудования в разных режимах (при нормальной и избыточной нагрузке).

Научный руководитель — к.т.н. Савельев А. О.

Список литературы

- [1] Портал программных решений компании ABB. [Электронный ресурс]. URL: <https://new.abb.com/abb-ability> (дата обращения 11.07.2019).
- [2] Описание программного решения Kuka Connect. [Электронный ресурс]. URL: <https://connect.kuka.com/en/> (дата обращения 13.07.2019).
- [3] Описание программного продукта Fanuc MT-LINKi. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/cnc/MT-LINKi\(E\)-01.pdf](https://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/cnc/MT-LINKi(E)-01.pdf) (дата обращения 15.07.2019).
- [4] Обнаружение аномалий в данных сетевого мониторинга методами статистики. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/344762/> (дата обращения 17.07.2019).

2.9. Дудаев А.Р., Кузьмичев А.В. Современные ИТ технологии применительно к задачам геофизики в процессе бурения скважин

Автоматизация обработки и интерпретации данных для нового оборудования в процессе бурения является одним из важных направлений. Усложняющиеся геофизические задачи повышают сложность, времязатратность и количество входных параметров алгоритмов [1]. Работать с такими алгоритмами через входные файлы или интерфейс без интерактивности становится невозможно, что приводит к созданию для них интуитивных интерфейсов

для более удобного и продуктивного использования вычислителей.

Web-приложение сочетает красивый, интерактивный интерфейс и в тоже время сложные вычислительные алгоритмы. В работе рассматривается создание приложения, в основе которого лежит взаимодействие клиентской части в браузере — фронтенда и веб-сервера — бэкенда. Отображение пользовательского интерфейса выполняется за счет использования Angular Material, геофизических данных — библиотека D3.js, а для более наглядного отображения в 3D формате — Three.js. Фреймворк Angular вместе с Webpack отвечают за сборку проекта, его оптимизацию и минимизацию для ускорения работы. Пользовательские, геофизические и рассчитанные данные хранятся в нереляционной базе данных MongoDB в json-формате. Docker запускает C++/Fortran/CUDA алгоритмы с необходимыми зависимостями в изолированной среде, что делает серверную часть кроссплатформенной. Docker Swarm делает систему масштабируемой, а Docker Compose производит автоматическое развертывание ПО. Контролирование вычислительных задач происходит за счет очереди сообщений RabbitMQ.

При таком подходе фронтенд, где важны функционал адаптивность и понятность интерфейса, реализуется на высокоуровневых языках программирования (JavaScript и TypeScript), а бэкенд, где основой является производительность и надежность — на низкоуровневых (C++ и Fortran) [2].

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

Список литературы

- [1] ДУДАЕВ А. Р., СОБОЛЕВ А. Ю., ГЛИНСКИХ В. Н. Программное обеспечение с облачными вычислениями для электромагнитного каротажа в процессе бурения нефтегазовых скважин // XIX Науч.-практ. конф. «Геомодель 2017 — Вопросы геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа»: расширенные тезисы докладов, 2017. CD-ROM 43814.
- [2] DUDAEV A. R., NESNAEV O. V., GLINSKIKH V. N. High-performance computing on GPU for 2D electric logging problem based on the finite element methods // Proceedings of the 8th International Siberian Early Career GeoScientists Conference. Novosibirsk, 2017. P. 390–391.

2.10. Емельянов В.С., Шарлов М.В., Буддо И.В., Шелохов И.А. Подход к решению обратной задачи электроразведки с применением искусственных нейронных сетей

В область геологических задач, решаемых электроразведкой методом ЗСБ (зондирование становлением поля в ближней зоне) [1], входят поиски углеводородов, подземных вод, инженерные изыскания под строительство, прогноз условий бурения скважин и мониторинг состояния продуктив-

ных пластов-коллекторов во время промышленной эксплуатации месторождения. В зависимости от поставленных задач, требуется определение различных характеристик горных пород (чаще всего — оценка типа насыщения коллектора) слагающих осадочный чехол исследуемой площади. Для определения характеристик зондируемой толщи традиционно выполняется преобразование данных, называемое инверсией. В процессе инверсии, данным, полученным при проведении полевого эксперимента, сопоставляются теоретические модели, максимально точно описывающие зондируемое пространство. Мерой точности служит невязка между наблюдаемыми кривыми ЗСБ и теоретическими, полученными в результате решения прямой задачи.

Решение обратной задачи итеративным способом предполагает многократное выполнение прямой задачи для постоянно изменяющегося набора свойств геоэлектрической модели до достижения минимума функционала (невязки между наблюдаемой и теоретической кривой). Наиболее затратная по времени процедура — решение прямой задачи (в зависимости от производительности ЭВМ, около 0.2 с). Для достижения минимума невязки может потребоваться от 500 до 2000 прямых задач, что при общих объемах зондирований на площади исследований в первые тысячи измерений, делает решение обратной задачи невозможным в краткие сроки.

Авторами предлагается замена этого участка алгоритма на искусственную нейронную сеть (ИНС), чья скорость выполнения может быть на несколько порядков выше. Способов замены блока прямой задачи на ИНС для целей электроразведки не известно.

Предлагаемый способ решения обратной задачи можно отразить тремя логическими стадиями: подготовка, инверсия и обучение.

Результатом первой стадии являются структурные построения, загруженные в геоэлектрические модели для каждого пункта зондирований. Каждой точке съемки присваивается стартовая модель (стартовое приближение), представленная чередованием слоев с заданной мощностью (на основе анализа в первую очередь данных сейсморазведки) и допустимыми диапазонами изменения УЭС (на основе данных каротажа скважин и ожидаемых свойств горных пород осадочного чехла). Такая фиксация мощностей слоев во время инверсии и сужение диапазонов поиска позволяет снизить проявление S-эквивалентности.

Вторая стадия — инверсия. Согласно методу имитации отжига создается случайный набор моделей, для каждой из них выполняется прямая задача при помощи ИНС и рассчитывается невязка. После выбирается модель с наименьшей невязкой, на текущем шаге спуска она является решением. Относительно данного решения формируется новый набор

случайных моделей и цикл повторяется.

Повторив процедуру инверсии некоторое количество раз, можно оценить эквивалентность решений. Для каждого слоя модели накапливается статистика решений, позволяющая оценить вариацию значений УЭС, что напрямую связано с точностью восстановления. Важным отличием упомянутой оценки вариации от невязки между кривыми (традиционная метрика) в том, что последняя не позволяет дифференцировать ошибку по изучаемому разрезу. Кроме того, сумма всех реализаций, взвешенных на их невязку, находится ближе к фактическому распределению свойств исследуемой среды, чем любое единичное решение из анализируемой выборки.

Третья стадия — обучение. После каждой выполненной инверсии происходит расчет прямой задачи классическим способом. Результат расчета помещается одновременно в набор результатов инверсии (для оценки устойчивости решений) и в набор на обучение сети. Сам процесс обучения происходит параллельно с инверсией, с каждой новой попыткой решения прямой задачи точность ИНС увеличивается. Согласно алгоритму инверсии область поиска УЭС постепенно сужается, что смещает в сторону уменьшения и диапазон варьирования УЭС в обучающей выборке ИНС (чем более локально обучена ИНС, тем выше ее точность).

Существенными отличиями заявляемого способа в сравнении с известными техническими решениями являются:

- Высокая скорость решения обратной задачи в рамках одномерных геоэлектрических моделей за счет замены алгоритма расчета прямой задачи на ИНС.
- Высокая точность решения обратной задачи за счет адаптивного сужения диапазонов поиска УЭС и параллельного обучения ИНС в области искомого минимума функции.
- Высокая устойчивость решения обратной задачи за счет статистического накопления результатов.

Список литературы

[1] Основы электромагнитных зондирований / Под ред. Л. Л. Ваньян. М: Недра, 1965. 109 с.

2.11. Ермолаева Д.А. Пакет прикладных программ для расчетов региональной трещиноватости горного массива.

Трещиноватость горных пород образуется в результате длительного воздействия геомеханических, тектонических и физико-математических процессов, происходящих в породном массиве и земной коре. В связи с появлением качественных космоснимков представляется возможным по этим следам исследовать этапы происхождения массива горных

пород, а так же оценить и спрогнозировать будущее физическое состояние породного массива [1].

Данная работа направлена на решение задач компьютерного дешифрирования космических снимков с помощью различных методик с целью выделения наиболее достоверной линеаментной сети. Выявленные линеаменты представляют собой зоны тектонической активности, отражающей особенности строения и развития не только верхней части земной коры, но и ее более глубоких горизонтов [2]. Линейные структуры могут использоваться для решения различных прикладных задач:

- определение путей миграции подземных вод;
- поиск месторождений полезных ископаемых;
- прогнозирование геодинамической опасности;
- оценка устойчивости структурно-тектонических блоков при проектировании и строительстве сооружений [3].

Работа выполнена с помощью высокоуровневого языка программирования Python, который ориентирован на повышение производительности и работает под всеми распространенными операционными системами. В ходе выполнения данной работы были исследованы различные методы идентификации линейных структур, выявлена оптимальная схема, состоящая из предварительной и тематической обработки, а так же дешифрирования. В результате выполнения программного комплекса в качестве выходных данных были получены розы-диаграммы, таблицы значений идентифицированных линеаментов и графики трещиноватости.

Научный руководитель — д.т.н. Потапов В. П.

Список литературы

- [1] Златопольский А.А., Малкин Б.В. Автоматизированный анализ ориентированных характеристик данных дистанционного зондирования / М.: 2012.
- [2] Короновский Н.В., Иванченко Г.Н. Автоматизированное дешифрирование космических снимков с целью структурного анализа / Л.: 1986. 174 с.
- [3] Корчуганова Н.И., Корсаков А.К. Дистанционные методы геологического картирования / М.: КДУ, 2009.

2.12. Здорнов М.Ю. Разработка алгоритма оценивания признаков цифровой электроэнцефалограммы для диагностирования шизофрении у детей и подростков

Целью данной работы является обнаружение шизофрении у детей и подростков с помощью цифровой электроэнцефалограммы (ЭЭГ), используя метод корреляционной синхронности ЭЭГ. Исходная запись ЭЭГ представляет собой временной ряд, состоящий из 16 каналов на промежутке времени от 0 до 55 секунд, с шагом 0,005 секунд. Данные записи ЭЭГ взяты из научного центра психического здоровья РАМН, они были получены в лаборатории ней-

рофизиологии этого центра [1]. Данный набор содержит записи 39 детей и подростков в возрасте от 8 до 15 лет с диагнозом психоза и 39 записей здоровых детей того же возраста. Перед применением метода анализа корреляционной синхронности производилась предварительная обработка сигнала, которая заключалась в следующих шагах:

1. Фурье-фильтрация ЭЭГ-сигнала в пяти частотных диапазонах: 0,5–4 Гц, 4–8 Гц, 8–13 Гц, 13–20 Гц, 20–32 Гц.
2. Вычисление огибающей [2] от отфильтрованных ЭЭГ-сигналов, которая прямо отображает амплитудную модуляцию ЭЭГ.
3. Оценка ЭЭГ-синхронизма по коэффициентам корреляции Пирсона между огибающими в сравниваемых парах отведений [3].

Значимость коэффициентов корреляции оценивается по критерию Стьюдента с вычислением критического значения. После получения значений коэффициентов корреляции сформировывались признаки. По полученным признакам была произведена классификация испытуемых используя метод опорных векторов (SVM). В результате, удалось верно определить психоз у 33 пациентов из 39 (чувствительность 85%, специфичность 82%). Точность данного метода составила 78%. Полученные результаты показывают, что предложенная методика может быть рекомендована к применению на практике для исследования психических заболеваний.

Список литературы

- [1] Кафедра Высшей нервной деятельности биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова [Электронный ресурс] / URL: <http://www.neurobiology.ru/doc/index.php?ID=83> (дата обращения: 15.11.2018).
- [2] Кулаичев А. П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика. Учебное пособие для классического университетского образования. М.: ФОРУМ-ИНФРА-М, 2007. 640 с.
- [3] Кулаичев А. П., Горбачевская Н. Л., Горюнов А. В. Различия показателей синхронности биоэлектрической активности на ЭЭГ у здоровых и больных психозом детей и подростков / М.: Московский психолого-педагогический университет, 2012.— 60 с.

2.13. *Ивашко Е.Е.* Высокопроизводительный облачный сервис для виртуального скрининга

Задача виртуального скрининга, несмотря на быстрое развитие вычислительных систем и моделей молекулярного докинга, остается актуальной и ресурсоемкой. При этом, задача хорошо масштабируется и обеспечивает линейное ускорение по количеству вычислительных узлов в системах распределенных вычислений. Автоматизация всего процесса виртуального скрининга и ускорение его с помощью высокопроизводительных вычислитель-

ных ресурсов — это одна из наиболее актуальных задач современной биоинформатики [1].

Обзор современных облачных систем, акцентирующий внимание на автоматизации процесса виртуального скрининга с использованием различных баз данных лигандов, методов фильтрации, размерности и т. п., представлен в работе [2]. Также в работе проводится сравнение производительности рассматриваемых инструментов с точки зрения пропускной способности лигандов, однако без учета вычислительной инфраструктуры.

Вопросы использования вычислительной инфраструктуры разного типа — вычислительных кластеров, грид-систем, Desktop Grid, публичных облаков — рассматриваются в большом количестве статей. Сравнивая между собой различные вычислительные инфраструктуры, авторы приходят к выводу [3, 4], что распределенные вычисления (грид-системы, в частности) являются наиболее подходящим подходом для организации широкомасштабных экспериментов по виртуальному скринингу. При этом, облачные вычисления предоставляют гибкость, необходимую при запуске экспериментов различного масштаба, а вычислительные кластера, оснащенные ускорителями GP GPU, показывают наилучшую удельную производительность. Однако даже использование больших грид-систем на текущем уровне развития вычислительных ресурсов и программного обеспечения молекулярного докинга не позволяет охватить все возможное пространство молекул.

Тем не менее, несмотря на достаточно большое количество исследовательских работ, развитие сервисов виртуального скрининга продолжается на стыке высокопроизводительной вычислительной инфраструктуры, облачной парадигмы предоставления доступа и автоматизации рабочего процесса.

В работе представлен высокопроизводительный облачный сервис для виртуального скрининга. Система использует Desktop Grid в качестве вычислительных ресурсов, парадигму облачных вычислений для абстрагирования от аппаратной платформы и ряд математических моделей для оптимизации назначения заданий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-07-00628).

Список литературы

- [1] NIKITINA N., IVASHKO E., TCHERNYKH Congestion game scheduling for virtual drug screening optimization // Journal of Computer Aided Molecular Design. 2018. Vol. 32. Iss. 2. P. 363–374.
- [2] BANEGAS-LUNA A. J., CERON-CARRASCO J. P., PEREZ-SANCHEZ H. A review of ligand-based virtual screening web tools and screening algorithms in large molecular databases in the age of big data // Future Medicinal Chemistry. 2018. Vol. 10 (22). P. 2641–2658.
- [3] BANEGAS-LUNA A. J., IMBERNON B., LLANES CASTRO A., ET AL. Advances in distributed computing

with modern drug discovery // Expert Opinion on Drug Discovery. 2019. Vol. 14 (1). P. 9–22.

- [4] DONG D., XU Z., ZHONG W., PENG S. Parallelization of Molecular Docking: A Review // Current Topics in Medicinal Chemistry. 2018. Vol. 18. Iss. 12. P. 1015–1028.

2.14. Кензин М.Ю., Максимкин Н.Н. Координация группы автономных роботов в условиях топливных ограничений

Бурное развитие беспилотной робототехники в последние десятилетия привело к значительному росту приложений для автономных мобильных роботов (АМР). В ситуациях, когда требуется обеспечить мониторинг региона при нехватке времени или ресурсов на развертывание сети статического наблюдения, использование группы таких аппаратов позволяет добиться оперативного освещения обстановки в представляющих интерес областях [1].

Существенным ограничением в аспекте высокой продолжительности проводимых работ является необходимость пополнения группой топливных ресурсов прямо в процессе выполнения миссии и без существенной корректировки текущей групповой стратегии. Таким образом, полностью автономная система группового управления должна не только координировать процесс выполнения заданного множества заданий в условиях действующих ограничений, но и регулировать процедуру регулярной подзарядки аккумуляторов (пополнения баков) всех АМР [2]. При этом необходимо учитывать, что процесс выполнения миссии не должен прерываться на время подзарядки, а значит необходимо выбирать такой порядок и время пополнения аппаратами заряда батарей, чтобы остающаяся для выполнения заданий группировка всегда была в состоянии обеспечить эффективный мониторинг области.

Предлагается использование эволюционного подхода к планированию расписания ротации группы АМР с учетом функциональной и параметрической разнородности действующих аппаратов. Разработана модификация эволюционных алгоритмов, эффективно реализующая быстрое и надежное составление допустимых групповых расписаний, а также их оперативную корректировку в случае возникновения непредвиденных событий. Используется оригинальная схема кодирования решения, позволяющая значительно снизить размерность задачи и вычислительные затраты на поиск ее решения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН (программа № 7, проект «Методы, алгоритмы и инструментальные средства децентрализованного группового решения задач в вычислительных и управляющих системах»).

Научный руководитель — академик Бычков И. В.

Список литературы

- [1] DUNBABIN M., MARQUES L. Robots for environmental monitoring: Significant advancements and applications // IEEE Robotics and Automation Magazine. 2012. Vol. 19. N. 1. P. 24–39.
- [2] AFSHAR-BAKESHLOO M., MEHRABI A., SAFARI H. ET AL. A green vehicle routing problem with customer satisfaction criteria // Journal of Industrial Engineering International. 2016. Vol. 12. N. 4. P. 529–544.

2.15. Колесников А.А., Кижин П.М. Пространственно-временное моделирование экологических показателей с использованием методов машинного обучения

Масштаб применимости и потенциал методов машинного обучения для экологии были представлены еще в 2000 году на International Conference on Applications of Machine Learning to Ecological Modelling в Аделаиде. Одной из наиболее универсальных технологий этого направления являются методы машинного обучения, в частности, разновидности рекуррентных нейронных сетей, временные сверточные нейронные сети и их сочетания для прогнозирования динамики процессов и явлений.

Целью данного исследования являлась оценка применимости методов машинного обучения и их сравнение с традиционными алгоритмами для прогнозирования временных рядов, представляющих данные экосистем. Среди большого числа существующих в настоящее время архитектур, для прогнозирования временных рядов наиболее подходящими считаются рекуррентные нейронные сети [1]. Самой подходящей из них является архитектура LSTM, которая была создана для моделирования долгосрочных зависимостей и определения оптимального временного лага в задачах прогнозирования временных рядов [2]. В работе приведены результаты прогнозирования уровня воды в реки Соан [3], океанских течений, развития растительности национального парка [4], а также численности москитов *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* с использованием алгоритма SARIMA, временных сверточных нейронных сетей (в реализации библиотек PyTorch и Keras) и LSTM-сетей (в реализации библиотеки Keras). Сделаны выводы о применимости данных подходов, их особенностях и ограничениях.

Список литературы

- [1] KAMILARIS A., PRENAFETA-BOLDU F. X. Deep learning in agriculture: A survey // Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 147. P. 70–90.
- [2] HOCHREITER S., SCHMIDHUBER J. Long short-term memory // Neural computation. 1997. Vol. 9. N. 8. P. 1735–1780.
- [3] ZHAO G., GAO H., CUO L. Effects of urbanization and climate change on peak flows over the San-Antonio river basin, Texas // Journal of Hydrometeorology. 2016. Vol. 17. P. 2371–2389.

- [4] CHLINGARYAN A., SUKKARIEH S., WHELAN B. Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 151. P. 61–69.

2.16. Кондратьев Д.А. На пути к автоматической верификации С-программ с вложенными циклами в системе C-lightVer

Автоматизация верификации С-программ — актуальная проблема современного программирования. Для ее решения необходимо автоматизировать аннотирование циклов инвариантами, доказательство условий корректности (УК) и локализацию ошибок в случае ложных УК.

В Институте систем информатики СО РАН разрабатывается система C-lightVer [1], использующая комплексный подход к автоматизированной дедуктивной верификации С-программ. Данный подход включает символический метод верификации конечных итераций [2] для элиминации инвариантов циклов, стратегии доказательства для проверки УК на истинность [3] и метод семантической разметки Денни и Фишера для локализации ошибок [4].

Денни и Фишер предложили добавить в правила вывода УК семантическую разметку для объяснения результата применения правила. Ключевая особенность подхода Денни и Фишера состоит том, что различные подформулы располагаются на специальных позициях в правилах вывода, и, исходя из этого, генератор УК добавляет соответствующие метки к ним. Для генерации объяснений УК метки извлекаются, сортируются по номерам строк и переводятся в текст на естественном языке.

Для автоматизации дедуктивной верификации в системе C-lightVer используется ориентация на класс программ, осуществляющих конечные итерации. Тело цикла конечной итерации выполняется один раз для каждого элемента структуры данных конечной размерности. В символическом методе верификации конечных итераций используется специальное правило вывода УК для таких итераций. Данное правило основано на специальной операции замены (функции гер), выражающей действие цикла в символической форме. Функция гер определяется рекурсивно по номеру итерации. Таким образом, некоторые УК программы с конечной итерацией содержат применение функции гер.

Системы доказательства не справляются с доказательством УК, содержащих функцию гер, в автоматическом режиме. Поэтому ранее нами были разработаны стратегии автоматизации доказательства таких УК [3]. В ходе развития проекта встала задача автоматической верификации С-программ с вложенными циклами. Такие задачи возникают при верификации программ линейной алгебры, программ сортировки, программ, реализующих интерфейс BLAS. Применение символическо-

го метода верификации конечных итераций для таких программ приводит к композиции функций гер для внешнего и вложенного цикла.

Разработанные нами ранее стратегии не позволяют доказать в автоматическом режиме УК, содержащие композицию функций гер. Поэтому, нами была разработана новая стратегия автоматизации доказательства таких УК. Данная стратегия основана на индукции по номеру итерации внешнего цикла и использовании ранее разработанных стратегий для доказательства шага индукции. В качестве примера, демонстрирующего применение данной стратегии, использована сортировка простыми вставками.

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

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

Список литературы

- [1] КОНДРАТЬЕВ Д. А. Расширение системы C-light символическим методом верификации конечных итераций // *Вычислительные технологии*. 2017. Т. 22. Специальный выпуск 1. С. 44–59.
- [2] NEPOMNIASCHY V. A. Symbolic method of verification of definite iterations over altered data structures // *Programming and Computer Software*. 2005. Vol. 31. N. 1. P. 1–9.
- [3] КОНДРАТЬЕВ Д. А., МАРЬЯСОВ И. В., НЕПОМНЯЩИЙ В. А. Автоматизация верификации С-программ с использованием символического метода элиминации инвариантов циклов // *Моделирование и анализ информационных систем*. 2018. Т. 25. № 5. С. 491–505.
- [4] DENNEY E., FISCHER B. Explaining Verification Conditions // *Lecture Notes in Computer Science*. 2008. Vol. 5140. P. 145–159.

2.17. Коровкин В.А. Применение нейронных сетей для классификации эмоции на изображениях

Сегодня одними из самых интересных и востребованных в области обработки и распознавания объектов на изображениях являются задачи, связанные с распознаванием лиц, а также разработкой автоматических систем, которые способны проводить анализ эмоционально-психического состояния человека [1]. Согласно современным исследованиям на вербальные методы приходится не более 30% переданной информации, тогда как большая часть данных человек получает через невербальные (поза, мимика, жесты и т. п.). Выражение базовых эмоций на лице человека не зависит от половой, расовой, культурной или возрастной принадлежности человека (согласно работам, например, П. Экмана [2]). Данный факт позволяет поставить задачу создания интеллектуальной системы распознавания эмоций и настоящих намерений человека по его внешнему образу и поведению в процессе коммуникации. На практике такие системы могут быть

использованы в качестве дополнительного инструментария при клинико-психологических исследованиях, для улучшения взаимодействия между людьми и роботами, в различных системах безопасности и т. д. [3].

Методы распознавания эмоции можно разделить на четыре больших класса: холистические, локальные, динамические и геометрические. Для получения наилучшего результата классификации эмоций необходимо комбинировать и использовать методы из нескольких классов. Задача идентификации эмоции обычно решается в два этапа — детектирование лица на изображении, а затем уже непосредственная классификация лицевой эмоции на основе выделенной области. В данной работе для распознавания лиц был использован алгоритм Виолы — Джонса [4]. Обучение алгоритма осуществлялось на основе бустинга, при котором классификаторы (признаки Хаара комбинировались для получения более сложного классификатора).

В данной работе рассматриваются нейронные сети (ANN) и сверточные нейронные сети (CNN), которые обеспечивают частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и прочим искажениям. В качестве наборов данных для обучения и тестирования была использована база Extended Cohn — Kanade Database (CK+) [5], содержащая 11061 фотографию в формате *.png. Все фотографии имеют разрешение 640 на 490 пикселей. Всего в наборе данных выделено 8 классов эмоций: злость (1), презрение (2), отвращение (3), страх (4), счастье (5), грусть (6), удивление (7) и нейтральное (8) выражение лица. Каждый класс эмоций включает в себя различное количество изображений. Для увеличения набора изображений было выполнено зеркальное отображение каждого изображения в необходимых классах. Перед непосредственно обучением выборка фотографий была нормализована — размер полученного нормализованного изображения фиксирован и составляет 80×80 пикселей. Для создания и настройки нейронных сетей использовались библиотеки Keras и Theano. Для обучения подготовленная база изображений была разбита на две части: обучающую и тестовую. Тестовая выборка составила 20% от общего объема изображений. Кроме этого для тестирования были использованы база Kaggle [6]. Архитектура искусственной нейронной сети (ANN) включает в себя 4 слоя. Входной слой составляет 6400 нейронов, выходной — 8 нейронов. В сети присутствует 2 промежуточных слоя по 160 нейронов каждый. Входной слой сверточной нейронной сети используется только для передачи входного образа и не несет какой-либо специальной функциональной нагрузки. Слой свертки использует ядро размерностью 5. После операции свертки происходит нормализация координат тензора и суб-

дискретизирующий слой с ядром свертки 3. Сеть содержит ряд таких, повторяющихся блоков, но с другими параметрами. Подбор параметров для этих слоев проводился опытным путем. Выходной слой соединяется со слоем функции потерь и слоем точности. Обучение останавливалось при достижении 400 эпох. Ошибка ANN на тренировочной выборке — 0.00225, CNN — 0.00201. Ошибки на тестовых выборках: у ANN — 0.00333, у CNN — 0.00223. В результате выявлено, что применение слоев свертки уменьшает среднеквадратическую ошибку сети при одном и том же количестве эпох обучения. Наилучшую точность показал алгоритм, разработанный с использованием сверточных слоев.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-08-00977 А).

Научный руководитель — д.т.н. Спицын В. Г.

Список литературы

- [1] Коровкин В. А. Современные методы распознавания эмоций // Молодежь и современные информационные технологии. 2018. С. 76–78.
- [2] ЭКМАН П. Психология эмоций / Спб: Питер, 2018. 336 с.
- [3] KOSTI R. Emotion recognition in context // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017. P. 1–9.
- [4] Метод Виолы-Джонса (Viola-Jones) как основа для распознавания лиц. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/133826/> (дата обращения 26.08.2019)
- [5] LUCEY P. The Extended Cohn-Kanade Dataset (CK+): A complete dataset for action unit and emotion-specified expression // Proceedings of IEEE CVPR Workshop on Biometrics. San Francisco, CA, USA: IEEE Computer Society, 2010. P. 94–101.
- [6] Datasets Kaggle. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kaggle.com/datasets> (дата обращения 06.09.2019).

2.18. Короленко Д.Б., Кузьменко А.П., Сабуров В.С. Анализ данных системы сейсмометрического мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений

Для обеспечения безопасной эксплуатации гидротехнического сооружения (ГТС) необходим постоянный контроль технического состояния сооружения и его основания.

Проведение инженерно-сейсмометрических наблюдений является обязательным для ГТС 1-ого и 2-го класса в районах с сейсмичностью 7-8 баллов и выше [1]. Для этого сооружения должны быть оборудованы автоматизированными приборами и комплексами, позволяющими регистрировать характеристики колебаний в ряде точек сооружений и береговых примыканий во время землетрясений.

Кроме того, одними из контролируемых параметров, отражающих техническое состояние строительной конструкции в целом, являются динамические характеристики — частоты и формы собственных

колебаний, статистические и диссипативные характеристики и др. Следует отметить, что динамические характеристики подвержены сезонным изменениям, поэтому необходимо их учитывать и отличать от необратимых изменений в процессе эксплуатации сооружения. При этом, значения собственных частот и эпюры форм собственных колебаний объекта позволяют оценить интегральные упругие характеристики конструкции и его основания — жесткость, модуль упругости и др., необходимые для оценки устойчивости конструкций сооружений и наиболее точно отражающие их техническое состояние [2].

В докладе рассмотрены вопросы, связанные с методами мониторинга технического состояния плотин ГЭС по динамическим характеристикам и разработкой информационной системы. Представлены оригинальные функциональная модель и модель данных системы сейсмометрического мониторинга технического состояния плотин ГЭС. Приведена технология анализа полученных с помощью системы данных — динамических и упругих характеристик. Описаны процессы сбора, обработки, хранения и анализа данных для регистрации сейсмических событий и контроля технического состояния.

Разработанная информационная система сейсмометрического мониторинга была установлена на плотине Красноярской ГЭС в 2009 году. По результатам эксплуатации системы определены некоторые динамические и конструкционные упругие характеристики системы «плотина-основание» [3]. Система неоднократно модифицировалась и была установлена на плотине Зейской ГЭС в 2018 году [4].

В докладе рассмотрено программное обеспечение визуализации и анализа данных сейсмометрического мониторинга.

Научный руководитель — д.т.н. Москвичев В. В.

Список литературы

- [1] СТО РусГидро 02.01.80 — 2012. Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Правила эксплуатации. Нормы и требования. Введён 2012-10-29 / М.: ОАО «РУСГИДРО», 2012. 181 с.
- [2] САБУРОВ В. С., КУЗЬМЕНКО А. П. Обследование зданий повышенной этажности. Инженерно-сейсмометрический метод. / Saarbrücken, Germany: LAMBERT Academic Publishing, 2013. 184 с.
- [3] КУЗЬМЕНКО А. П., ВОРОВЬЕВА Д. Б., КУЗЬМИН Н. Г. Контроль динамических характеристик с помощью системы регистрации землетрясений и мониторинга технического состояния плотины Красноярской ГЭС // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2012. Т. 266. С. 10–21.
- [4] Короленко Д. Б., Короленко Л. А., Кузьменко А. П. и др. Автоматизированная система сейсмометрического контроля технического состояния плотины Зейской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2019. №. 6. С. 29–35.

2.19. Короленко Л.А., Сабуров В.С., Кузьменко А.П. Расчет собственных частот по заданным упругим характеристикам замещающих моделей

Актуальность определения упругих характеристик несущих конструкций и грунтового основания строительных систем определяется тем, что в настоящее время широко практикуется строительство зданий и сооружений по индивидуальным проектам, способность несущих конструкций которых противостоять вероятным статическим нагрузкам и динамическим воздействиям подтверждается только уровнем квалификации специалистов, проводивших статический и динамический расчёт несущих конструкций.

Появление нормативных документов, регламентирующих необходимость проведения мониторинга частот форм собственных колебаний зданий и сооружений [1], привело к появлению множества организаций, осуществляющих такие измерения. Также необходимо отметить, что в нормативных документах не приводятся критерии отклонения динамических характеристик, согласно которым техническое состояние зданий и сооружений можно идентифицировать как годное, годное с ограниченным доступом или аварийное.

Существующий в настоящее время инженерно-сейсмометрический метод позволяет измерять значения частот нескольких форм собственных колебаний, что открывает возможность создания программного комплекса решения обратной спектральной задачи. Целью решения обратной спектральной задачи является определение упругих характеристик механической системы и условий сопряжения фундамента с грунтовым основанием при заданных значениях частот и/или эпюр форм собственных колебаний.

С точки зрения проектных и строительных организаций для оценки технического состояния зданий и сооружений наиболее однозначными диагностическими параметрами являются упругие характеристики несущих конструкций и грунта основания, так как для них существуют нормативные значения, и они позволяют произвести поверочный расчёт. Поэтому разработка методов определения упругих характеристик объектов по значениям их частот форм собственных колебаний является важной и пока не решенной задачей.

В работе были рассмотрены замещающие математические модели зданий и сооружений в виде изгибных, сдвиговых, продольных, изгибно-сдвиговых, изгибно-крутильных колебаний балки, упруго закреплённой в опорных сечениях [2]. Разработан программный комплекс для решения прямой спектральной задачи (расчет собственных частот по заданным упругим характеристикам) для замещающих математических моделей с учётом влияния от-

порности основания. Проведен анализ влияния различных упругих характеристик замещающих моделей на значения собственных частот колебаний (для оценки порядка усложнения замещающих моделей при решении обратной спектральной задачи).

Список литературы

- [1] ГОСТ Р 54859-2011. Здания и сооружения. Определение параметров основного тона собственных колебаний. Введён 2012-07-01 / М.: Стандартинформ, 2012. 19 с.
- [2] САБУРОВ В. С., КУЗЬМЕНКО А. П. Теория колебаний балки. Учебное пособие по курсу «Динамика строительных конструкций и сооружений» / Новосибирск: КТИ ВТ СО РАН, 2015. 179 с.

2.20. Короткова Ю., Мезенцев Ю.А. Алгоритмы решения задач оптимизации расписаний параллельных систем с заданными задержками начала обслуживания

В докладе представлены оригинальные постановка и алгоритм решения одной из задач теории расписаний — оперативного оптимального управления назначениями воздушных судов авиакомпании по заданному критерию эффективности (минимизации риска невыполнения плана), основанному на оперативной информации о состоянии следования разработанным маршрутам и исходным расписаниям воздушных судов. Содержательно задача оперативного управления заключается в таком перераспределении парка воздушных судов по рейсам авиакомпании за планируемый период, которое минимизирует максимальное суммарное отклонение от исходного графика движения всего парка воздушных судов авиакомпании при выполнении всех условий исходного графика по пассажиропотоку, числу рейсов, нормативов обслуживания.

Говоря о практической значимости исследования стоит отметить огромное внимание со стороны Минтранса к вопросу управления пунктуальностью рейсов. Так, согласно изменениям по приказу Минтранса России от 27 октября 2017 г. N 465 непунктуальность авиакомпаний в совокупности с другими причинами может привести к ограничению действия сертификата эксплуатанта — основного документа, разрешающего полеты.

Несмотря на то, что исследование направлено на решения конкретной прикладной задачи, при условии достижения целей проекта оно внесет значительный вклад в развитие методов формального моделирования.

Описанная задача является NP-трудной и не имеет эффективных алгоритмов точного решения, несмотря на то, что существует множество подходов и алгоритмов решения (локальный поиск, аппроксимационные алгоритмы, программирование в ограничениях, динамическое программирование).

Результаты настоящего исследования, прежде всего, опираются на работы, посвященные примене-

ниям динамического программирования с отсевом локально наилучших расписания на каждом шаге динамического программирования [1] и на работы, посвященные методу бинарных отсечений и ветвлений смешанного целочисленного программирования [2].

В работе приведены результаты тестирования алгоритмов на сгенерированных исходных данных рассматриваемой задачи, максимально приближенных к реальным размерностям. Результаты исследования программных реализаций алгоритмов позволяют сделать вывод о непосредственной применимости разработанного инструментария к потребностям практики. А также косвенно свидетельствуют о наличии условий, регулирующих трудоемкость и точность применяемых алгоритмов оптимизации расписаний несвязанных параллельных приборов при наличии ограничений на сроки принятия решений. В частности, повышения точности решений можно достичь не увеличением трудоемкости алгоритма, а регулированием ресурсных ограничений.

Список литературы

- [1] AVDEENKO T. V., MEZENTSEV Y. A., ESTRAIKH I. V. Heuristic approach to unrelated parallel machines scheduling under availability and resource constraints // IFAC-PapersOnline. 2017. Vol. 50. N. 1. P. 13096–13101.
- [2] MEZENTSEV Y. A. Binary cut-and-branch method for solving mixed integer programming problems // Proc. Conf. «Constructive Nonsmooth Analysis and Related Topics». IEEE, 2017. P. 1–3.

2.21. Костылев Д.А., Толстихин А.А. Организация распределенных вычислений в имитационном моделирующем комплексе для исследования поведения групп мобильных роботов

Разработка систем управления группами мобильных роботов является нетривиальной задачей и особое место занимают этапы тестирования и отладки, реализуемые, как правило, с использованием различных программных имитационных моделей. Однако исключительно программные решения не могут учесть всех аспектов функционирования реальных устройств. Для более полного исследования поведения автономных роботов разрабатывается программно-аппаратный моделирующий комплекс [1], включающий в себя тестовый полигон, реальных мобильных роботов, технологию взаимодействия между ними, способы формирования, управления и отслеживания миссий, а также ряд некоторых вспомогательных функций.

Существует три основных архитектуры подобного рода систем: распределенная, централизованная, смешанная. Так как мобильные роботы имеют ограниченную вычислительную мощность, было принято решение перейти от полностью децентрализованной схемы, использованной авторами в [1], к комби-

нированной.

Для реализации такого подхода были введены виртуальные агенты, которые служат как для имитации полнофункциональных (использующих те же протоколы взаимодействия, что и реальные агенты), но малоподвижных роботов, так и в качестве вспомогательных виртуальных вычислительных модулей для предварительной обработки информации, предназначенной для использования реальными роботами.

Также в данной работе будет представлен подход к реализации сервиса, который обеспечивает локализацию роботов на изображениях, получаемых с видеокамер, установленных над тестовым полигоном, для оценки корректности действий агентов. Проведен сравнительный анализ двух подходов к идентификации роботов и выбран метод, основанный на цветовых метках.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН (программа №7, проект: «Методы, алгоритмы и инструментальные средства децентрализованного группового решения задач в вычислительных и управляющих системах»).

Список литературы

- [1] KOSTYLEV D., TOLSTIKHIN A., UL'YANOV S. Development of the Complex Modelling System for Intelligent Control Algorithms Testing // Proc. Intern. Conf. «42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)». IEEE, 2019. P. 1091–1096.

2.22. Костюк Д.М., Широков Н.К. Технология связывания авторских профилей РИНЦ с открытыми данными ЕГИСУ НИОКТР

Библиографические базы данных (Web of Science, Scopus, РИНЦ и др.) играют важную роль в научной деятельности. Они позволяют ученым осуществлять поиск по интересующей их тематике, а также проводить различного вида наукометрические исследования [1, 2], используемые при оценке публикационной активности как организаций, так и отдельных сотрудников.

Однако, для проведения вышеупомянутых исследований часто применяется не одна, а множество таких баз данных, которые имеют различные форматы представления информации. Все это затрудняет проведение совместного анализа данных, для которого необходимо установление соответствия между объектом из одной системы и аналогичным объектом из другой (связывание данных). В качестве примера двух систем с разным представлением являются системы РИНЦ (данные о российских авторах) и ЕГИСУ НИОКТР (данные о защите диссертаций).

Наиболее точный способ решения проблемы связывания библиометрических данных — это использование различного вида идентификаторов. Напри-

мер, в 2012 году был представлен идентификатор ORCID — буквенно-цифровой код для однозначной идентификации научных авторов. Данный идентификатор также является одним из предлагаемых решений в ряде зарубежных работ [3, 4].

Другими видами идентификаторов, которые предназначены для безошибочного определения авторства, являются SPIN-код в РИНЦ, ResearcherID, Scopus Author ID. Однако в случае сопоставления данных из РИНЦ и ЕГИСУ НИОКТР использование подобного вида идентификаторов не представляется возможным в связи с их отсутствием в базе данных диссертаций.

Работа посвящена решению проблемы связывания данных о диссертациях российских исследователей, полученных с базы диссертаций ЕГИСУ НИОКТР, с их авторскими профилями с РИНЦ.

В результате анализа структуры и содержания баз данных был разработан алгоритм интеграции данных на двух базах, после чего сформирована совмещенная база данных диссертаций и авторских профилей. Сопоставление показало, что для более 50% диссертаций был найден профиль автора в системе РИНЦ.

Научный руководитель — к.т.н. Гуськов А. Е.

Список литературы

- [1] АКОЕВ М. А., МАРКУСОВА В. А., МОСКАЛЁВА О. В., ПИСЛЯКОВ В. В. Руководство по наукометрии: индикаторы развития наук и технологии / Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 250 с.
- [2] GUSKOV A., KOSYAKOV D., SELIVANOVA I. Scientometric research in Russia: impact of science policy changes // Scientometrics. 2017. Vol. 107. N. 1. P. 287–303.
- [3] SCHULZ J. Using Monte Carlo simulations to assess the impact of author name disambiguation quality on different bibliometric analysis // Scientometrics. 2016. Vol. 107. N. 3. P. 1283–1298.
- [4] GASPARYAN A., YESSIRKEPOV M., GERASIMOV A. ET AL. Scientific author names: errors, corrections, and identity profiles // Biochem Med. 2016. Vol. 26. P. 169–173.

2.23. Кравченко В.А., Ширатов Д.Ш. Автоматизация лямбда-исчисления для моделирования технических систем

Лямбда-исчисление рассматривается как инструмент логико-функционального моделирования [1] для разработки актуальных систем автоматизированного решения прямых и обратных задач математического моделирования динамических систем.

В настоящее время логико-функциональный метод представлен совокупностью трех лямбда-функций, реализован на языке программирования Lisp [2] и апробирован в области линейных радиотехнических систем [3]. Также показана возможность использования метода для моделирования нелинейных радиотехнических систем [4]. Но дальнейшее развитие логико-функционального моделирования ограничено низкой распространенностью

языка Lisp. Поэтому целью работы является разработка метода использования языка MATLAB для реализации символьного вывода нормальных форм лямбда-термов. Реализация системы в среде MATLAB позволит упростить ознакомление с методом функциональных грамматик и может способствовать созданию баз знаний разных предметных областей исследователями в области моделирования динамических систем.

В работе показано решение следующих задач:

1. определение набора правил лямбда-исчисления для его автоматизации;
2. выбор стратегии преобразования лямбда-выражений;
3. исследование среды MATLAB на возможность символьной работы со списочными структурами;
4. реализация на языке MATLAB правил (п. 1) и стратегии редукции (п. 2), учитывая особенности работы со списочными структурами (п. 3).

В качестве правил лямбда-исчисления (п. 1) формально описаны операции абстракции, аппликации, альфа-, бета- и эта-редукций. Выбрана и обоснована стратегия преобразования (п. 2), которая включает последовательное применение бета-редукций к самым внешним редексам с возможной заменой переменных с помощью альфа-редукций, а также последующее применение эта-редукций для получения нормальной формы. Произведен анализ возможностей пакета MATLAB для реализации лямбда-исчисления (п. 3) и обоснован выбор строкового типа данных и инструментов работы с ним. Реализация (п. 4) была показана на примере отдельных функций редукционной стратегии.

Таким образом, получена новая методика автоматического вывода лямбда-выражений в среде MATLAB.

Работа выполнена при финансовой поддержке Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (грант «Молодые ученые ВСГУТУ – 2019»).

Список литературы

- [1] Кравченко В. А., Ширапов Д. Ш., Чимитов Д. Н. Формальное описание функционального логико-математического моделирования динамических систем // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. 2017. № 3. С. 32–39.
- [2] Кравченко В. А., Могнонов П. Б., Чимитов Д. Н. Программная реализация решателя задач на основе метода функциональных грамматик // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2013. № 6. С. 36–42.
- [3] Кравченко В. А., Чимитов Д. Н. Применение решателя задач на основе аппарата функциональных грамматик в радиотехнике // Тр. Всеросс. Научн.

Конф. «Компьютерные технологии в науке, в технике, в искусстве». Таганрог, 2013. Ч. 2. С. 17–23.

- [4] KRAVCHENKO V., SHIRAPOV D. Logic-Functional Modeling of Nonlinear Radio Engineering Systems // Proc. Intern. Conf. «International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)». IEEE, 2018. P. 1–6.

2.24. Криветченко О.В. Пожаровзрывоопасные свойства: вопросы прогнозирования

В работе предложен эффективный способ определения нижнего и верхнего концентрационных пределов воспламенения (НКПВ и ВКПВ, соответственно), который основан на использовании фрагментарных дескрипторов и нейросетевого подхода. Большое значение при оценке пожарной опасности химических веществ имеют показатели пожаровзрывоопасности, в том числе и концентрационные пределы воспламенения [1]. Особую актуальность в настоящее время имеет разработка и развитие экспрессных способов их определения, что снижает финансовые, временные затраты на прогнозирование [2]. Ранее были представлены модели прогнозирования верхнего концентрационного предела через нижний [3], регрессионные модели предсказания на основе информационных и зарядовых дескрипторов [4]. Целью работы является создание и исследование эффективных методов предсказания концентрационных пределов воспламенения для различных классов химических веществ. Для этого решаются следующие задачи: автоматическое определение наличия и количества фрагментарных дескрипторов типа «атом – связь – атом», «атом с валентным окружением», «микрофрагмент», «микрофрагмент – связь – микрофрагмент», которые связаны с пожарными свойствами; создание базы данных, содержащей экспериментальные данные показателей пожарной опасности, применение нейронных сетей для установления связи между этими дескрипторами и концентрационными пределами воспламенения; создание компьютерной программы для реализации моделей.

Исследование проводилось с использованием программного продукта Statistica. Для обучения нейронных сетей было отобрано 659 веществ для НКПВ и 440 веществ для ВКПВ. Контроль всех полученных сетей проводился на выборке из 114 и 62 веществ для НКПВ и ВКПВ соответственно.

Наилучшие показатели на обучении дают использование дескрипторов «атом – связь – атом» как для прогнозирования нижнего, так и для прогнозирования верхнего концентрационных пределов воспламенения. Для реализации предложенных методов была разработана компьютерная программа «ChemPred».

Список литературы

- [1] КАЛАЧ А. В., КРУТОЛАПОВ А. С., КОРОЛЕВ Д. С. Расчет категории помещения на основе методи-

ки прогнозирования пожароопасных свойств продуктов нефтепереработки // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. № 26 (9). С. 29–34.

- [2] КОРОЛЕВ Д. С. Современные методы определения пожароопасных свойств веществ (обзор) // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2016. № 6. С. 202–210.
- [3] ОСИПОВ А. Л., КРИВЕТЧЕНКО О. В., ТРУШИНА В. П. Модели прогнозирования верхнего концентрационного предела через нижний // International journal of advanced studies. 2018. Т. 8. С. 77–82.
- [4] ОСИПОВ А. Л., КРИВЕТЧЕНКО О. В., ТРУШИНА В. П. Предсказание концентрационных пределов воспламенения на основе информационных и зарядовых дескрипторов // International journal of advanced studies. 2018. Т. 8. С. 83–91.

2.25. Кротова О.С. Глубокое обучение в диагностике и прогнозировании сахарного диабета

Сахарный диабет — опасное хроническое заболевание, обусловленное нарушением усвоения глюкозы в организме человека. Быстрый рост числа больных и высокая степень инвалидизации определяют сахарный диабет как серьезную медико-социальную проблему. Важнейшей потребностью современной диабетологии является разработка и внедрение новых эффективных способов ранней диагностики, прогнозирования и предотвращения развития заболевания и сопутствующих осложнений.

Целью данного исследования является разработка интеллектуальной системы комплексной диагностики и прогнозирования сахарного диабета у детей и подростков. Информационная база исследования представлена обезличенными выписками из историй болезни детей и подростков Алтайского края, страдающих сахарным диабетом. В качестве основы интеллектуальной системы планируется использовать глубокие нейронные сети на основе фреймворка глубокого обучения Keras и языка программирования Python. Глубокое обучение — это особый раздел машинного обучения, объединяющий алгоритмы, которые моделируют высокоуровневые абстракции в данных, используя архитектуры, состоящие из множества нелинейных преобразований. Алгоритмы глубокого обучения обладают высокой производительностью и простотой обучения на больших наборах данных.

Построенные ранее модели диагностики стадий компенсации и декомпенсации сахарного диабета показали высокую точность классификации [1, 2], что говорит о том, что методы и подходы машинного обучения можно успешно применять для диагностики и прогнозирования сахарного диабета.

Разработка и внедрение интеллектуальной системы в медицинские учреждения обеспечит поддержку принятия врачебных решений, позволит диагностировать сахарный диабет на ранних стадиях, прогнозировать и предотвращать развитие осложне-

ний.

Научные руководители — к.т.н. Хворова Л. А., к.м.н. Пиянзин А. И.

Список литературы

- [1] Кротова О. С., Пиянзин А. И., Хворова Л. А., Жариков А. В. Некоторые математические подходы в построении моделей прогнозирования стадий компенсации и декомпенсации сахарного диабета у детей и подростков // Известия АлтГУ. 2018. № 4 (102). С. 83–87.
- [2] Кротова О. С., Пиянзин А. И., Хворова Л. А. Интеллектуальный анализ данных в диагностике сахарного диабета // Южно-Сибирский научный вестник. 2019. № 1 (25). С. 39–41.

2.26. Мамтугуева Г.С. Программно-аппаратная IoT-платформа

Одно из направлений в национальном проекте «Цифровая экономика» [1] — Internet of Things (IoT, «Интернет вещей»). Широкое внедрение IoT-систем замедляется по ряду причин: сложность внедрения и сопровождения, отсутствие необходимой ИТ-инфраструктуры, безопасность личных данных, достоверность данных, и приватность пользователей [2]. В нашей стране дополнительными трудностями являются: устаревшее оборудование, недостаточное число квалифицированных специалистов, низкий уровень доверия к облачным хранилищам и т. п.

Для разрешения некоторых проблем предложена программно-аппаратная IoT-платформа — ПАК ИОТ. Ее основное назначение заключается в сокращении затрат пользователей при создании IoT-систем. Разработчикам необходимо предоставить только информацию о протоколах соединения IoT-устройств и разместить IoT-приложение на платформе, все остальные задачи (сбор, передача, типовая обработка и хранение данных) выполняются средствами платформы. С помощью платформы разработчики могут настраивать и конфигурировать среду развертывания IoT-системы, выбирать место расположения IoT-приложений, определять и регулировать взаимодействия между элементами системы.

Архитектура ПАК ИОТ представляет собой физически распределенную совокупность нескольких узлов (центров сбора, обработки и хранения информации) трёх типов: центральные, региональные и периферийные. Узлы разных типов отличаются по задачам, функциям и набору инструментов. Все узлы платформы объединены в единое виртуальное пространство, что позволяет горизонтально масштабировать размещаемые на платформе IoT-системы, в отличие от других IoT-платформ, предназначенных для развертывания вертикальных IoT-систем [3].

В настоящий момент создана модель регионального узла, предназначенного для сокращения из-

держек при передаче и обработке данных. Узлы данного типа предоставляют разработчикам доступ к вычислительным средам и обеспечивают устойчивое функционирование важных бизнес-процессов. В рамках пускового комплекса ПАК ИИОТ реализованы основные сервисы регионального узла: подсистема управления виртуализацией и подсистема биллинга. В основе подсистема управления виртуализацией лежит система управления виртуализацией OpenStack, для которой были написаны плагины. Основные особенности разработанной подсистемы: единая панель управления группой физических серверов; автоматическая установка и настройка программного обеспечения; инструмент живой миграции виртуальных машин для балансировки нагрузки; система аналитики нагрузки и система уведомлений, которые обеспечивают своевременное информирование о проблемах в системе.

Подсистема биллинга предназначена для: точного учёта потребленных ресурсов, формирования счетов на оплату и других документов, проведение оплаты через различные платежные системы, контроля предоставляемых ресурсов и т. п. Панель управления интегрируема с разнообразными интернет-сервисами.

Стоит отметить, что разработанный пусковой комплекс IoT-платформы располагается в дата-центре на территории России, что также является одним из условий реализации национального проекта «Цифровая экономика» [1].

Список литературы

- [1] ПРАВИТЕЛЬСТВО РФ. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/info/35568/> (дата обращения 02.09.2019).
- [2] TADVISER. Интренет вещей, IoT, M2M мировой рынок. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tadviser.ru/a/302413> (дата обращения 02.09.2019).
- [3] SANTOSH S. Top 20 IoT Platforms in 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://internetofthingswiki.com/top-20-iot-platforms/634/> (дата обращения 02.09.2019).

2.27. Махажанова У.Т., Муханова А.А. Методика принятия решений в области кредитования на основе нечёткой логики Заде

Традиционные методы оценки кредитоспособности неприемлемы для малого бизнеса. Это объясняется высоким уровнем ошибок в финансовой отчетности малых предприятий, использованием различных схем ухода от уплаты налогов и т. д. Для решения данной проблемы применяются альтернативные методы оценки кредитоспособности малых предприятий, основанные на нечеткой логике Заде.

Процедура принятия решения в обобщенном виде включает: формулирование и сопоставление альтер-

натив, выбор альтернатив, построение и корректировку программы действий.

Формализуем задачу оценки кредитоспособности предприятия малого бизнеса путем представления набора параметров в виде лингвистических переменных. Исходные показатели отображаются на интервал $[0,1]$.

Оценка кредитоспособности конкретной организации — потенциального заемщика, предприятия сферы малого (среднего) бизнеса, может быть представлена следующими лингвистическими переменными (альтернативами):

- 1) a_1 — низкая(L);
- 2) a_2 — ниже среднего(LM);
- 3) a_3 — средняя(M);
- 4) a_4 — выше среднего(HM);
- 5) a_5 — высокая(H).

С каждой лингвистической переменной ассоциируется своя функция принадлежности. Один из возможных способов задания функций принадлежности предложен в работе [1].

Набор оцениваемых параметров был определен ранее в работе [2].

С каждым i -м показателем связываем три одноместных предикате $P_L^i(x)$, $P_M^i(x)$, $P_H^i(x)$. Для простоты вводятся также формульно определяемые предикаты: $P_{LM}^i(x) = P_L^i(x) \vee P_M^i(x)$ и $P_{HM}^i(x) = P_M^i(x) \vee P_H^i(x)$. Аналогично с каждым финансовым показателем связываем предикате Q_D^i , $D \in L, M, H, LM, HM$.

Правила, на основе которых принимаются решения, имеют вид $\varphi(x_1, \dots, x_n) \rightarrow \psi(y_1, \dots, y_m)$.

Обычно $\varphi(x_1, \dots, x_n) = \bigwedge_{j=1}^n Q_j(x_j)$, т. е. имеем конъюнкцию одноместных предикатов указанной выше сигнатуры. При этом каждое Q_j имеет вид P_D^i , $D \in L, M, H, LM, HM$.

Может использоваться несколько правил R_i : $\varphi(x_1, \dots, x_n) \rightarrow \psi(y_1, \dots, y_m)$, $i = 1, \dots, N$.

Для краткости пишем $R_i = R_i(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_m)$.

В ряде случаев целесообразно рассматривать их дизъюнкцию $R = \bigvee_i R_i$.

Параметры $x_1 \dots x_n$ получаются в результате анализа деятельности предприятия. Параметры $y_1 \dots y_m$ предсказываются. Это такие показатели, как: объем кредита, процентная ставка, длительность кредита. В самом общем виде предсказывается один параметр называемый индекс кредитоспособности, меняющийся от 0 до 1 и имеющий естественную интерпретацию. А именно, предпочтение отдается предприятиям с более высоким индексом кредитоспособности.

Список литературы

- [1] Пивкин В. Я., Бакулин Е. П., Кореньков Д. И. Нечеткие множества в системах управления: учеб. пособие. /Новосибирск: Изд-во НГУ, 1997. 52 с.

[2] Илларионов А. В. Разработка математических моделей и алгоритмов принятия решений по кредитованию предприятий малого (среднего) бизнеса на основе аппарата теории нечетких множеств: дис. ... канд. экон. наук. Владимирский гос. университет, Владимир, 2006. 231 с.

2.28. Мельников П.В. Улучшение метода классификации гиперспектральных изображений с применением частичного обучения

В задачах классификации аэрокосмических изображений процесс получения обучающих выборок классов зачастую связан со значительными материальными и временными затратами. Поэтому на практике обучающие выборки обычно имеются не для всех классов и, как правило, эти выборки содержат малое число точек и являются непредставительными. Данная проблема является еще более актуальной при классификации гиперспектральных изображений (ГСИ), которые содержат большое число спектральных каналов и накладывают большие требования к объему обучающих выборок.

В то же время, при классификации изображений всегда доступен большой объем непомеченных данных. В этих условиях для расширения обучающих выборок можно использовать методы классификации с частичным обучением. Эти методы позволяют наращивать обучающие выборки благодаря использованию информации о совместной плотности распределения, содержащейся в непомеченных данных.

Ранее авторами была предложена процедура классификации ГСИ с частичным обучением [1], состоящая из следующих этапов:

1. выделение информативных признаков с помощью метода главных компонент;
2. кластеризация данных с помощью быстрого точного алгоритма SSA;
3. наращивание обучающих выборок с помощью непараметрического алгоритма soft-PARZEN;
4. собственно классификация с помощью классификатора опорных векторов (SVM).

Было показано, что данная процедура позволяет эффективно наращивать обучающую выборку, выбираю новые точки из непомеченных данных; при применении предложенной методики точность классификации существенно повышается.

В данной работе рассматриваются возможности дальнейшего улучшения качества классификации с помощью предложенной схемы. Производится сравнение качества классификации в зависимости от метода выделения признаков, числа использованных признаков, методики выбора точек для классификатора softParzen. Приводятся результаты экспериментального сравнения качества распознавания на примере ГСИ Salinas и Indian Pines. Делаются выводы об оптимальных параметрах алгоритмов,

которые могут быть обобщены и на другие гиперспектральные изображения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-37-00492 мол_а).

Список литературы

[1] Мельников П. В., Пестунов И. А. Метод классификации с частичным обучением для обработки гиперспектральных изображений // Труды Международной конференции «Вычислительная математика и математическая геофизика»: посвященная 90-летию со дня рождения академика А. С. Алексеева. Новосибирск: Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН. 2018. С. 308–312.

2.29. Морозов К.С. Алгоритм идентификации по инфракрасному изображению кровеносных сосудов

Биометрические методы идентификации личности основаны на распознавании отпечатков пальцев, геометрии лица, радужной оболочки глаза, геометрии руки, рисунка вен, голоса. Технология идентификации по рисунку вен (ИпРВ) является одной из новейших среди биометрических методов, исследуемых сегодня. Основными преимуществами является потенциальная бесконтактность метода сканирования, труднодоступность получения рисунка вен злоумышленниками. Для получения рисунка вен используется камера с ИК-фильтром и соответствующая фильтру ИК-подсветка.

Для получения изображения рисунка вен используется метод отражения или пропускания. В методе отражения на камеру попадает излучение, отраженное от объекта, а в методе пропускания — прошедшее через объект. Метод отражения позволяет минимизировать размеры устройства, для получения контрастного изображения вен необходима меньшая мощность излучения, чем при методе пропускания.

Для ИпРВ используют вены пальцев, ладони, тыльной стороны ладони (ТСЛ) и запястья. Самые крупные вены на запястье и на ТСЛ, что позволяет в качестве сканера использовать обычные веб-камеры с низким разрешением. Главная задача предобработки состоит в том, чтобы выделить область интереса (ОИ) — область, которая сравнивается при идентификации. В системах ИпРВ ладони и ТСЛ используют контур руки, в котором выделяются зазоры между пальцами. В задачах ИпРВ запястья общепринятого метода еще не выработано, эта задача актуальна. В работе [1] ОИ определяется с помощью настроек камеры и конструкции сканера. В работе [2] в качестве ОИ берется часть изображения, яркость которой больше порога. Выбор вен запястья для исследования обусловлен тем, что можно достичь максимального заполнения полезной информацией сканера (нет необходимости в пальцах для выделения ОИ) и тем, что возможно сконструировать бесконтактный сканер, используя

метод отражения, поэтому прибор получится компактный и гигиеничный.

Данная работа посвящена автоматическому выделению ОИ на запястье с использованием разработанного бесконтактного сканера на основе веб-камеры и метода отражения, а так же последующей обработке выделенной области. Были получены изображения запястья, выделана ОИ, получен скелет вен и выделены узловые точки. Полученный набор точек сравнивается с наборами из имеющейся базы пользователей. Вывод о принадлежности двух наборов к одному пользователю делается по модифицированному расстоянию Хаусдорфа.

Научный руководитель — д.т.н. Васюков В. Н.

Список литературы

- [1] PASCUAL J.E.S., SANCHEZ-REILLO R., LORENZ M.G. ET AL. Capturing Hand or Wrist Vein Images for Biometric Authentication Using Low-Cost Devices // Sixth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Germany, 2010. P. 318–322.
- [2] NIKISINS O., EGLITIS T., ANJOS A. ET AL. Fast cross-correlation based wrist vein recognition algorithm with rotation and translation compensation // International Workshop on Biometrics and Forensics (IWBF). Italy, 2018.

2.30. Мяхор Д.А. Разработка аппаратной составляющей робототехнического комплекса для исследования эффективности применения веб-технологий в процессе прототипирования электронных устройств

Процесс прототипирования электронных устройств ежегодно усложняется в связи со стремительным развитием техники. Поэтому от того, насколько быстро и качественно создан прототип, зависит скорость проверки гипотез, быстрота разработки программно-аппаратного обеспечения, количество затраченных ресурсов, а в дальнейшем экономический успех будущего продукта и его положение на рынке. Таким образом, потребность в инструментах, способных улучшить рассматриваемый процесс, не теряет свою актуальность. Ключом к созданию таких инструментов могут стать веб-технологии: централизованная обработка информации на мощном аппаратном обеспечении, расширение коммуникационных возможностей, применение удалённой отладки, кросс-платформенность ПО.

Представленная работа посвящена разработке аппаратной составляющей робототехнического комплекса, на базе которого в дальнейшем будет проведено исследование эффективности применения веб-технологий в процессе прототипирования электронных устройств.

В ходе работы был разработан колесный робот, каждый узел которого является модульным

и унифицированным. Устройство обладает тремя колесными модулями, включающими в себя мотор-редукторы и двоянные пружинные амортизаторы, манипулятором, прямоугольной площадкой с отверстиями под крепление пользовательской электроники и сенсоров, литий-полимерным аккумулятором на 2500 мАч. Корпус спроектирован в САПР Solid Works и изготовлен из березовой фанеры на лазерном гравировальном станке. Система управления состоит из двух подсистем: основной (на базе Raspberry Pi 3) и вспомогательной (NodeMCU). Возможность использования веб-технологий обеспечивается наличием встроенного веб-сервера во вспомогательной системе управления.

2.31. Пахомова К.И., Белова А.Л., Коробко А.В. Исследование публикаций тематических групп социальных сетей с помощью анализа формальных понятий

В настоящий момент анализ формальных понятий (АФП) является современным и эффективным инструментом структурирования и анализа данных. Математический аппарат АФП [1] основывается на классической теории алгебраических решеток. Достоинством данного математического подхода является не только интерпретация данных в виде решений математических формул, но и визуализация результатов, представленная диаграммой Хассе. В статьях [2, 3] рассказывается о роли АФП в компьютерных науках и приводится краткий обзор его основных приложений. Авторы подчеркивают универсальность и гибкость метода, с помощью которого можно классифицировать объекты, решать рекомендательные задачи [4], осуществлять семантический анализ текстов и организовывать процесс поиска неструктурированной информации — информационный поиск.

В следствии популяризации и практичности использования социальных онлайн-платформ (социальных сетей) наблюдается тенденция к растущему объему информации. Исследователи заинтересованы в извлечении из массивов данных «интересной» и «полезной» информации, которая востребована в коммерческой и социально-культурной сферах. Таким образом, целью данной работы является выявление ключевых слов/фраз в публикациях тематических групп для выявления популярных словоформ и их зависимостей с помощью АФП.

Принцип подхода АФП основан на вычислении формальных концептов

$$A' = \{m \in M | gIm \ g \in A\}, \quad A \subseteq G,$$

$$B' = \{g \in G | gIm \ m \in B\}, \quad B \subseteq M,$$

и их упорядочивание в решетку формальных понятий. Исходный набор данных представлен в виде формального контекста (G, M, I) , состоящего из тройки объект $g \in G$, атрибут $m \in M$ и отноше-

ния между ними $I \subseteq G \times M$, причем в классическом АФП отношения определяются 0 или 1. В ходе текущей задачи были определены наборы объектов — тексты публикаций, атрибуты — ключевые слова, и отношения — наличие ключевого слова в той или иной публикации. Ключевые слова определены с помощью алгоритма TD-IDF [5], сами тексты публикаций извлечены из социальной сети «ВКонтакте» в количестве 300 публикаций одной тематической группы. В результате применения АФП были вычислены 720 концептов и построена диаграмма — решетка формальных понятий.

Таким образом, были выявлены зависимости между ключевыми словами, и обнаружены новые знания, заключающиеся в выделении семантических отношений и формировании семантического представления текстов публикаций. Относительно данного эксперимента было вычислено более десятка ключевых фраз, например, (фестиваль, мост, ходить, чат, берег), рассчитаны их частотности, в частности, на диаграмме формальных понятий цветком обозначены часто и редко используемые совокупности ключевых слов.

Полученные результаты демонстрируют ценность АФП в задачах семантического анализа текстов и могут быть использованы как дополнительное решение для аналитиков и копирайтеров.

Список литературы

- [1] GANTER B, WILLE R. Formal Concept Analyses: Mathematical Foundations / Berlin Heidelberg: Springer Science and Business Media, 2012. 314 p.
- [2] ИГНАТОВ Д.И. Анализ формальных понятий: от теории к практике / В кн.: Д.И. Игнатов, Р.Э. Яворский (Ред.) Анализ изображений, сетей и текстов. Вып. 1. М.: Национальный открытый университет «ИНТУИТ», 2012. Р.3–15.
- [3] КУЗНЕЦОВ С.О. О некоторых вопросах анализа понятий / Научно-техническая информация. 1999. С. 57–61.
- [4] MEDINA J., РАКНОМОВА К., RAMIREZ-POUSSA E. Recommendation solution for a Locate-Based Social Network via Formal Concept Analysis / In: M. E. Cornejo, L. T. Koczy, J. Medina, A. E. B. Ruano (Eds.) Trends in Mathematics and Computational Intelligence. Cham: Springer, 2019. P. 131–138.
- [5] JONES K.S. A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval // Journal of Documentation. 2004. Vol. 60. N. 5. P. 493–502.

2.32. Перов А.А. Анализ возможностей применения технологий искусственного интеллекта к задачам статистического анализа блочных шифров

Автором предлагается применение модели нейронной сети Inception V3 к задачам статистического анализа выходных последовательностей блочных шифров. Традиционно предлагаемая модель используется для категорирования графических изображений, однако автором экспериментально полу-

чены результаты, доказывающие возможность обучения модели для выполнения задач такого рода. Для проведения экспериментов с помощью библиотеки «УНИБЛОКС-2015» [1] были сгенерированы шифртексты разных итеративных алгоритмов на разном числе раундов, которые с помощью созданной программной утилиты были преобразованы в формат JPEG. Основная идея экспериментов — отличить выборки, зашифрованные на разном числе раундов друг от друга.

Утилита формировала изображения размером 400 на 400 пикселей, что соответствует 2^{12} бит информации. В результате преобразования на графических отображениях шифртекстов, зашифрованных на малом числе раундов, были явно видны узоры, тогда как шифртексты на полном числе раундов выглядели как равномерное шумное изображение.

После преобразований были проведены следующие эксперименты.

1. Сети было предложено отличить по 1000 отображений шифртекстов алгоритма Simon на 3 и 30 раундах соответственно. Модель показала 100% результат в определении принадлежности элемента контрольной выборки к той или иной группе шифртекстов.
2. В эксперименте модели предлагалось отличать отображения шифртекстов соседних раундов алгоритма Simon с 3 по 21 раунд (по 500 отображений на каждом). В результате было получено, что с увеличением числа раундов процент правильных решений модели снижается к значению R_{min} [1] — минимального числа раундов, обеспечивающих удовлетворительные статистические свойства, становится приближен к 0.5.
3. В эксперименте предлагалось отличать выборки разных алгоритмов (Speck и Present) до 10 раунда. На первых шести раундах модель отличала 100% предложенных шифртекстов, затем процент стал падать и к десятому раунду (значению R_{min} этих алгоритмов) достиг 48.6%.
4. На основании результатов, полученных ранее с помощью статистических тестов, были сформированы две выборки по 10000 шифртекстов разных алгоритмов с удовлетворительными и неудовлетворительными статистическими свойствами [1]. В качестве контрольной выборки было использовано 2100 изображений. В 98% изображений модель верно определила степень случайности выходной последовательности.

По результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что применение технологий машинного обучения возможно для решения задач статистического анализа. Во всех эксперимен-

тах с увеличением числа раундов доля правильных решений принятых моделью стремилась к 0.5, что свидетельствует о неотличимости последовательностей на числе раундов большем, чем R_{min} . Преимуществом данного метода является возможность использования усеченной выборки: в экспериментах использованы шифртексты размером 2^{12} бит, тогда как для классического статистического теста необходима весьма большая выборка [2].

Список литературы

- [1] ПЕРОВ А. А., ПЕСТУНОВ А. И. Статистическое тестирование современных итеративных блочных шифров с помощью программной библиотеки «УНИБЛОКС-2015» // Инновации в жизнь. 2016. № 2 (17). С. 89–97.
- [2] РЯБКО Б. Я., СТОГНИЕНКО В. С., ШОКИН Ю. И. Адаптивный критерий χ^2 для различения близких гипотез при большом числе классов и его применение к некоторым задачам криптографии // Проблемы передачи информации. 2003. Т. 39. № 2. С. 53–62.

2.33. Печатнова Е.В. Система оперативного управления безопасностью дорожного движения

Механизмы эффективного управления играют важную роль в решении многих социально-экономических проблем, в том числе обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) [1]. Особенностью проблемы дорожно-транспортной аварийности является необходимость комплексного подхода в планировании мероприятий с вовлечением различных структурных подразделений [2].

Необходимым условием повышения уровня БДД является создание на региональном уровне эффективного механизма координации ведомств и организаций, ответственных за БДД в оперативном режиме [3].

Для разработки системы оперативного управления БДД (СОУБДД) автором получены объективные критерии: коэффициент влияния внешних условий (K_s) и коэффициент влияния дорожных характеристик (K_d^i). Далее предложен общий коэффициент опасности i -ого участка дороги в определенное время выражается с помощью мультипликативной модели (1):

$$K^i = K_s \cdot K_d^i, \quad (1)$$

Представленный коэффициент является критерием для запуска СОУБДД. Формирование системы, ее структуры и этапов внедрения проводилось автором на основе теории активных систем. Внедрение СОУБДД предполагается осуществлять в несколько этапов: этап тестирования, этап формирования базы знаний и этап работы двухвариантной системы.

Структура СОУБДД представлена двухуровневой организацией: Центр (Правительство региона представленное в оперативном режиме ЕДДС) и 4

активных элемента (АЭ): организация, ответственная за содержание дороги, территориальное подразделение ГИБДД, подразделение МЧС или иной службы спасения и СМИ. На первом этапе Центр передает управляющие воздействия АЭ в зависимости от значений K^i и критического значения K^i , определяемого на местном уровне; после чего АЭ по определенному правилу определяют комплекс мероприятий и он согласовывается. После завершения этапа тестирования и устранения недостатков организационного характера формирование системы переходит в этап 2, включающий в себя первый этап и формирование базы знаний, содержащей характеристики ситуации, принятых решений и результатов. На 3 этапе база знаний реализуется в качестве «пассивного помощника» — на основе сравнения характеристик ситуации с имеющимися в базе, система предлагает решения и предполагаемый результат.

Внедрение СОУБДД позволит оперативно реагировать на изменения условий внешней среды и предпринимать эффективный комплекс мероприятий по недопущению ДТП.

Научный руководитель — д.т.н. Оскорбин Н. М.

Список литературы

- [1] БУРКОВ В. Н., КОНДРАТЬЕВ В. Д., ЩЕПКИН А. В. Механизмы повышения безопасности дорожного движения / М.: Книжный дом «Либроком», 2012. 208 с.
- [2] НИКОЛАЕВА Р. В., ГАЗИЗОВА З. С. Управление безопасностью дорожного движения в Республике Татарстан // Вестник НЦБЖД. 2018. № 2 (36). С. 87–92.
- [3] ПЕЧАТНОВА Е. В. Повышение эффективности управления БДД с использованием элементов теории активных систем // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2018. № 2. С. 113–117.

2.34. Писарев А.В., Квашигин А.Г., Шакиров С.Р. Алгоритм формирования выборки данных для идентификации математической модели объекта регулирования нейро-нечеткого регулятора

В работе [1] представлены результаты по разработке и математическому моделированию работы нейро-нечеткого регулятора тепловой нагрузки установки утилизации органических отходов. Из-за неопределенности динамических характеристик объекта регулирования при работе регулятора необходимо выполнять идентификацию математической модели объекта регулирования в режиме реального времени. Это требует подачи тестового воздействия на объект регулирования. Определение необходимой величины тестового воздействия вызывает сложности: при малой величине тестового воздействия величина отклика объекта регулирования может оказаться недостаточной для определения ди-

намических характеристик, большая величина тестового воздействия может привести к аварийному повышению температуры дымовых газов или её недопустимому снижению [2]. Тестовое воздействие оказывает влияние на технологический процесс, что может быть недопустимым по условиям его протекания. Также процесс идентификации может быть длительным, и на это время вводятся ограничения в работе установки. В представленной работе предложен алгоритм формирования выборки данных для идентификации динамических характеристик объекта регулирования без использования тестовых воздействий на объект регулирования. Алгоритм состоит из 5 шагов:

1. При отклонении температуры дымовых газов в камере сжигания от текущего задания на величину, превышающую уставку, происходит отключение регулятора, при этом обороты шнекового питателя не изменяются. В случае повышения температуры выше аварийной уставки отключается ещё и шнековый питатель камеры сжигания и подача топлива в камеру сжигания прекращается. При этом установка остается в работе, и другие технологические процессы не прерываются (например, сушка).
2. Определяются координаты точки перегиба (время, величина температуры дымовых газов) переходной характеристики объекта регулирования. Вторая производная температуры дымовых газов в этой точке равна нулю [3].
3. Расчетным методом по координатам точки перегиба достраивается переходная характеристика объекта регулирования по соотношениям, связывающим параметры переходной характеристики (постоянные времени, коэффициент усиления) с координатами точки перегиба [3, 4]. За исходное принимается либо время начала последнего изменения частоты вращения шнекового питателя камеры сжигания перед отключением регулятора, либо, в случае повышения температуры выше аварийной уставки, полное отключение шнекового питателя. Эти изменения частоты вращения шнекового питателя принимаются за тестовые воздействия, что и позволяет исключить необходимость их специальной подачи. Определение параметров переходной характеристики предложенным методом позволяет не дожидаться завершения реакции объекта регулирования на изменение частоты вращения шнекового питателя [2].
4. Выполняется коррекция продукционных правил нечеткой модели объекта регулирования [5].
5. Регулятор включается в работу после завершения коррекции продукционных правил и пере-

дачи полученной инверсной модели объекта регулирования в корректирующее устройство [5].

Разработанный алгоритм позволяет:

- Исключить подачу тестовых воздействий на объект регулирования для выполнения идентификации.
- Сократить время процесса идентификации.

Список литературы

- [1] ШАКИРОВ С. Р., КВАШНИН А. Г., ПИСАРЕВ А. В. Синтез нейро-нечеткого регулятора тепловой нагрузки установки переработки органических отходов // Промышленные АСУ и контроллеры. 2019. № 9. С. 54–62.
- [2] Новиков С. И. Оптимизация автоматических систем регулирования теплоэнергетического оборудования. Ч. 1. Методы определения оптимальных параметров настроек регулирующих устройств / Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. 108 с.
- [3] СТЕФАНИ Е. П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. 2-е изд., перераб. / М.: Энергия, 1972. 376 с.
- [4] Коновалов В. И. Идентификация и диагностика систем / Томск: Изд-во ТПУ, 2010. 163 с.
- [5] ПЕГАТ А. Нечеткое моделирование и управление пер. с англ. 2-е изд. / М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.

2.35. Попова А.А. Автоматическое дешифрирование спутниковых снимков с помощью онтологии

В настоящее время во многих областях науки и человеческой жизни широко применяется дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). Материалы ДЗЗ используются для мониторинга сельскохозяйственных культур, изучения характеристик почвы, разграничения видов растительности, выявления районов вырубki леса или разрастания городов и т. д.

Чтобы получить информацию по материалам ДЗЗ, необходимо выполнить дешифрирование снимка [1]. Оно опирается на визуально инструментальные и автоматизированные методы. Процесс визуально-инструментальной обработки трудоемок и субъективен. Сроки выполнения и точность результата зависят от квалификации и опыта эксперта. Существует большое количество автоматизированных методов дешифрирования, но в большинстве своем они неустойчивы к изменениям условий съемки [2]. Поэтому одной из главных проблем учёных является разработка новых методов дешифрирования, лишенных этого недостатка.

В последнее время исследователи начали придавать большое значение применению онтологии для дешифрирования [3]. Однако разработанные подходы были ориентированы на конкретные типы пространственных объектов, а также снимки сверхвысокого разрешения, которые не подлежат свобод-

ному распространению. Исследование работ отечественных авторов показало, что в России данное направление не получило развития. Таким образом, разработка эффективного способа дешифрирования спутниковых снимков на основе онтологии является актуальной задачей.

Целью работы является разработка методики интерпретации спутниковых снимков на основе онтологического подхода и её дальнейшая апробация в виде модуля для геоинформационной системы, осуществляющего автоматическое дешифрирование спутниковых снимков среднего и высокого разрешения.

При проведении исследований использовались аппарат теории распознавания образов, методы обработки данных ДЗЗ, методы системного анализа, технологии объектно-ориентированного анализа и проектирования. Для верификации основных теоретических положений разработанной методики использован экспериментальный метод исследований.

Научная новизна работы заключается в разработке методики, применяющей онтологический подход для дешифрирования материалов ДЗЗ, подходящей для широкого класса объектов земной поверхности и пригодной для снимков невысокого разрешения.

Практическая ценность заключается в том, что методика позволяет повысить точность распознавания объектов спутниковых изображений за счет применения объектно-ориентированного подхода и аппарата онтологии. Разработанный программный модуль осуществляет автоматическое дешифрирование снимка, что позволяет значительно снизить трудоёмкость данного процесса, исключить влияние субъективности эксперта и необходимость принятия им интуитивных решений.

Научный руководитель — к.т.н. Васильшин И. И.

Список литературы

- [1] Сутырина Е. Н. Дистанционное зондирование Земли / Иркутск: ИГУ, 2013. 165 с.
- [2] Марков А. В., Григорьева О. В., Бровкина О. В. Автоматизированные методы оценки состояния окружающей среды по данным мульти- и гиперспектральной космической съемки // Геоматика. 2012. № 4. С. 102–106.
- [3] ANDRES S., ARVOR D., PIERKOT C. Towards an ontological approach for classifying remote sensing images // In Proceedings of the Eighth International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems. 2012. P. 825–832.

2.36. Попова А.А. Метод, алгоритм и устройство для автоматического мониторинга животных

Мониторинг животного мира проводится в целях своевременного выявления, предупреждения и устранения последствий негативных процессов и явлений для сохранения биологического разнообразия. Он имеет важное значение для задач экологи-

и и сельского хозяйства. Современными методами мониторинга животных являются радиослежение путем имплантации датчиков слежения, использование беспилотных летательных аппаратов, использование камер-ловушек. Однако обработка полученных такими способами данных требует большого количества времени, вследствие чего является крайне трудозатратной и дорогостоящей. Поэтому важное значение имеет поиск способов автоматизации обработки данных мониторинга.

Большинство существующих систем мониторинга животных требуют ручной обработки полученных данных. Так, например, в одном из крупнейших проектов по сбору фотографий животных Snapshot Serengeti, который на сегодняшний момент содержит 3.2 млн. изображений животных, при этом больше половины захваченных камерами фотографий не содержат изображений животных [1]. Таким образом, задача обработки полученных изображений практически целиком выполняется вручную так называемыми добровольцами. Также стоит отметить, что из-за используемых алгоритмов захвата изображений некоторые изображения сложно идентифицировать даже вручную (например, захвачена только часть животного, животное находится слишком далеко от камеры и т. д.). Кроме того при ручной обработке существует проблема влияния субъективности эксперта, т. е. одно и то же изображение животного может быть классифицировано разными экспертами по-разному. Следовательно, существует потребность в автоматизации анализа данных мониторинга.

Автоматизировать процесс мониторинга животных можно путём применения метода опорных векторов (SVM) или сверточной нейронной сети (CNN) [2]. Идея свёрточных нейронных сетей заключается в чередовании свёрточных слоёв и субдискретизирующих слоёв [3]. Тем не менее проблемами при обработке данных мониторинга являются необходимость значительной предварительной обработки фото- и видеоданных, содержащих изображения животных, а также достаточно низкая производительность обработки. Поэтому разработка эффективной методики автоматического мониторинга животных остается актуальной задачей.

Результатом данной работы является метод, алгоритм и устройство для автоматического мониторинга животных с использованием свёрточных нейронных сетей, которые осуществляют обнаружение животных на изображениях и распознавание, то есть отнесение животных к определенному виду.

Научная новизна работы состоит в разработке метода, алгоритма и устройства для автоматического обнаружения и распознавания нескольких видов арктических млекопитающих с помощью свёрточной нейронной сети. Предыдущие исследования с использованием такого подхода были на-

правлены либо только на обнаружение млекопитающих, либо на идентификацию одного вида, в связи с чем не обеспечивали возможности комплексного мониторинга арктических животных.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанный подход позволит повысить точность распознавания животных на изображениях за счет применения аппарата свёрточных нейронных сетей. Он будет пригоден для автоматического распознавания, что позволит значительно снизить трудоёмкость данного процесса, исключить влияние субъективности эксперта и необходимость принятия им интуитивных решений.

Научный руководитель — к.т.н. Василишин И. И.

Список литературы

- [1] O'CONNELL A. F., NICHOLS J. D., KARANTH K. U. Camera traps in animal ecology / Japan: Springer, 2011. 271 p.
- [2] ПОПОВА А. А. Автоматизированный мониторинг животных в арктических условиях // Тр. V Междунар. Конф. «Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых — 2019». Архангельск: САФУ, 2019. Т. 2. С. 354–358.
- [3] СТЕПАНОВ П. П. Искусственные нейронные сети // Молодой ученый. 2017. № 4. С. 185–187.

2.37. Приступа П.В. Эффективность прямой коррекции ошибок на уровне транспортного протокола

Важнейшим показателем качества взаимодействия абонентов компьютерных сетей является пропускная способность используемых ими транспортных соединений. Данная операционная характеристика в значительной мере определяется параметрами транспортного протокола — шириной окна и длительностью тайм-аута [1], а также дополнительными механизмами увеличения быстродействия за счет уменьшения числа повторных передач [2]. В настоящее время получает распространение метод прямой коррекции ошибок [3], который реализуется как на канальном [2], так и на транспортном уровне сетевой архитектуры [4–6].

Для моделирования транспортного соединения между абонентами исследуется динамика очереди переданных, но не подтвержденных сегментов, передаваемых с помощью надежного транспортного протокола, основанного на алгоритме с решающей обратной связью и функционирующего в режиме селективного или группового отказа [1].

Сегменты данных передаются в многозвенном тракте, имеющего длину в прямом направлении D_f и в обратном направлении — D_r , выраженную в количестве участков переприема. Тогда общая длина тракта $D = D_f + D_r$ есть не что иное, как круговая задержка одиночного сегмента. Известны достоверности передачи сегмента: F_f — в прямом, и F_r — в обратном направлении. Полагаем, что длитель-

ность цикла передачи сегмента в отдельном звене составляет t . Сегменты передаются блоками. Каждый блок состоит из B сегментов, A из которых являются информационными, а $(B - A)$ — избыточными. Наличие в каждом сегменте контрольной суммы позволяет полностью восстановить блок при условии искажения не более чем $(B - A)$ сегментов в нем. Вероятность успешного восстановления блока Ψ задается соотношением $\Psi = \sum_{i=A}^B C_i^B F_f^i (1 - F_f)^{B-i}$. Параметрами протокола также являются ширина окна ω , выраженная в количестве блоков, и таймаут ожидания подтверждения S , выраженный в количестве тактов длины t . Тогда очередь переданных, но не подтвержденных сегментов может быть описана цепью Маркова с конечным числом состоянием и дискретным временем, где состоянием с номерами $i = 0, \omega B$ соответствует размер очереди, а состоянием $i = \omega B + 1, S - 1$ соответствует приостановка передачи и ожидание отправителем подтверждения.

Пропускная способность определяется параметрами протокола и механизма прямой коррекции, характеристиками тракта передачи данных, а также особенностями протокольных процедур управления передачей [1]. Нормированное быстродействие транспортного соединения $Z(D, \omega, S, A, B)$ определяется средним числом успешно доставленных информационных сегментов (с учетом возможности восстановления) за среднее время между двумя последовательными подтверждениями на переданные блоки сегментов [7].

Полученные зависимости нормированной пропускной способности, как функции от параметров протокола, характеристик тракта передачи данных и параметров прямой коррекции, не приводятся в силу их громоздкости. Для выявления областей предпочтения механизма прямой коррекции ошибок классической процедуре исследуется функция выигрыша пропускной способности: $\Delta(\omega, A, B) = Z(\omega, A, B) - Z(\omega A, 1, 1)$. В случае абсолютно надежного обратного тракта ($F_r = 1$) в режиме селективного отказа и при размере окна $\omega \leq \lfloor \frac{D-2}{B} \rfloor + 1$ выигрыш принимает вид:

$$\Delta = \frac{A\Psi}{B[D-1-(\omega-2)B]} - \frac{F_f}{D-\omega A+1}. \text{ Положив } A=1, B=2 \text{ получаем, что функция выигрыша по параметру } F_f \text{ принимает положительные значения при } \omega \geq 3, D \geq (\omega-1)B+2, S > D+B-1 \text{ на интервале } F_f \in \left(0, \frac{2\omega-4}{D-\omega+1}\right). \text{ Максимум выигрыша достигается в середине интервала: } F_f = \frac{\omega-2}{D-\omega+1}.$$

Научный руководитель — д.т.н. Сущенко С. П.

Список литературы

- [1] FALL K., STEVENS R. TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols (2nd Edition) / USA: Addison-Wesley

- Professional Computing Series, 2012. 1017 p.
- [2] BARAKAT CH., ALTMAN E. Bandwidth tradeoff between TCP and link-level FEC // Computer Networks. 2002. N. 39, P. 133–150.
 - [3] ВДОВИН С. Алгоритмы прямой коррекции ошибок и особенности их применения. Турбокод // Компоненты и технологии. 2016. № 11 (184). С. 76–79.
 - [4] LUNDQVIST H., KARLSSON G. TCP with end-to-end FEC // Proc. Intern. Conf. «International Zurich Seminar on Communications». Switzerland: IEEE, 2004. P. 152–156.
 - [5] SHALIN R., KESAVARAJA D. Multimedia Data Transmission through TCP/IP using Hash Based FEC with AUTO-XOR Scheme // ICTACT Journal on Communication Technology. 2012. Vol. 03. Iss. 03. P. 604–609.
 - [6] MIKHNEEV P., SUSCHENKO S., TKACHEV R. Estimation of High-Speed Performance of the Transport Protocol with the Mechanism of Forward Error Correction // In: Vishnevskiy V., Samouylov K., Kozyrev D. (Eds) Distributed Computer and Communication Networks: Communications in Computer and Information Science, Vol. 700. Cham: Springer, 2017. P. 278–285.
 - [7] KOKSHENEV V. V., MIKHNEEV P. A., SUSHCHENKO S. P. Comparative Analysis of the Performance of Selective and Group Repeat Transmission Models in a Transport Protocol // Automation and Remote Control. 2017. Vol. 78. N. 2. P. 247–261.

2.38. Проконев В.В. Видеонаблюдение за процессом электронно-лучевой сварки

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) является одним из перспективных и быстро развивающихся способов соединения тугоплавких, химически активных металлов и их сплавов, а также алюминиевых, титановых сплавов и высоколегированных сталей. Внедрение и разработка различных систем видеонаблюдения за процессом электронно-лучевой сварки в течение технологического процесса ЭЛС, а также во время подготовительных операций и настройки оборудования являются перспективными направлениями работы, поскольку, несмотря на преимущества, которыми обладает ЭЛС, многое в качестве производимых с её помощью работ зависит от оператора. Получение видеоданных в процессе сварки позволяет повысить качество сварки и производительность работ, но получение качественных видеоданных сопряжено с определёнными трудностями для наблюдения обычными камерами.

Доклад посвящен разработке и изготовлению системы видеонаблюдения за процессами, происходящими в сварочной ванне при ЭЛС для установки электронно-лучевой сварки, находящейся в ИЯФ СО РАН, которая отличается от прочих существующих разработок простотой и доступностью. Проанализированы сложности, возникающие при наблюдении процесса сварки, рассмотрены этапы изготовления системы видеонаблюдения, и в заключении приводятся результаты работы системы видеонаблюдения.

2.39. Рылов С.А. Классификация спутниковых изображений высокого разрешения с использованием активного обучения

Важным этапом анализа спутниковых изображений является классификация, которая заключается в разделении пикселей изображения на классы, соответствующие различным типам природных и антропогенных объектов. Результаты классификации напрямую зависят от качества и объема имеющейся обучающей выборки (ОВ). Однако на практике ОВ, зачастую, оказывается сильно ограниченной, что может приводить к низкому качеству классификации.

В таких условиях представляет интерес использование активного обучения, когда алгоритм интерактивно просит пользователя указать классы для отдельных элементов (в которых он наименее уверен) чтобы повысить качество ОВ и соответствующих результатов классификации. Данный подход применялся при обработке спутниковых изображений [1, 2] и показал свою эффективность. Однако ранее активное обучение производилось в сопряжении со стандартными алгоритмами классификации в пространстве спектральных признаков.

В докладе предлагается вычислительно эффективный алгоритм спектрально-текстурной классификации с активным обучением для обработки мультиспектральных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения. Алгоритм основывается на оригинальном подходе к описанию мультиспектральной текстуры [3]. Применение активного обучения в пространстве спектрально-текстурных признаков позволяет повысить точность разделения спектрально неоднородных классов на изображении.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают эффективность предлагаемого метода классификации в условиях малого объема обучающей выборки и его применимость к обработке мультиспектральных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-37-00492 мол_а).

Список литературы

- [1] BRUZZONE L., PERSELLO C. Recent trends in classification of remote sensing data: Active and semisupervised machine learning paradigms // 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, 2010. P. 3720–3723.
- [2] TUIA D., VOLPI M., COPA L. ET AL. A survey of active learning algorithms for supervised remote sensing image classification // IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processin. 2011. Vol. 5. N. 3. P. 606–617.
- [3] РЫЛОВ С. А. Алгоритм спектрально-текстурной классификации спутниковых изображений с использованием частичного обучения // Гео-Сибирь. 2019. Т. 4. № 1. С. 37–43.

2.40. Сажлаков В.М. Разработка методологии цифровых социологических исследований

Процессы, в настоящее время протекающие как в российском, так и во многих зарубежных обществах, генерируют сильные пертурбационные эффекты. Эксперты из научной среды, бизнес среды и сферы государственного строительства трактуют их возникновение как следствие формирования новой промышленной революции. Одним из значимых результатов происходящего перехода станет, как и в предыдущих случаях, полное изменение пропорций, сложившихся в обществе экономических и социальных систем, их структуры, методов управления и взаимодействия.

В условиях активно формирующейся новой общественной формации традиционные методы социологической науки, перестали показывать достаточную эффективность при проведении исследований [1,2]. Новые методы цифровой социологии находятся в стадии формирования. В рамках настоящей работы ставилась цель: разработка комплексной методологии проведения социологических исследований в цифровую эпоху. Причем данные исследования должны фокусироваться в первую очередь не на личностях отдельных респондентов, а непосредственно множество протекающих в обществе процессов, участниками которых они являются.

При разработке описываемой методологии применялись следующие инструменты системного анализа — прозрачный (белый) ящик, комплексное трехуровневое моделирование сложных систем (уровни: методологический, системный и практический), процессное моделирование. Для апробации разработанной методологии на языке Python разработан алгоритм сбора данных из социальной сети Twitter.

Результаты работы: (1) разработаны принципы моделирования отдельной общественной системы и (2) ее процессная модель. Для первичной апробации методологии было собрано 360 сообщений пользователей по ключевому слову «экстремизм». При обработке из них выделено 581 единичное по смыслу сообщение. На основе анализа данных сообщений было выделено две конкурирующие общественные системы: «Национальные власти России» и «Оппозиция» с разнородным набором внутренних позиций.

Разработанный подход позволяет увидеть: люди с на первый взгляд разрозненными, даже эклектичными взглядами могут иметь в одном из множества общественных процессов одинаковое нормативное состояние. Выявление подобных связей с применением традиционных инструментов анализа является достаточно затруднительным. Данный фактор позволяет говорить о применимости разработанного подхода и необходимости продолжить настоящее исследование.

Научный руководитель — к. т. н Савельев А. О.

Список литературы

- [1] Кинчарова А. В., Соколов М. М. Исследовательские практики российских социологов // Социологические исследования. 2015. № 6. С. 58–68.
- [2] Дудина В. И. Цифровые данные — потенциал развития социологического знания // Социологические исследования. 2016. № 9. С. 21–30.

2.41. Серёдкин А.В., Токарев М.П., Бобров М.С. Разработка алгоритма оптимизации сбора объектов с конвейера

В связи с ростом производительности современных вычислительных систем, широкое распространение в последнее время получили системы управления на базе прогнозирующих моделей (Model Predictive Control) для задач планирования перемещением робототехнических устройств, например для управления беспилотным автомобилем. Основным элементом таких систем является оперативная оптимизация управления для некоторого горизонта событий. В данной работе был создан алгоритм управления удалением предметов с конвейерной ленты, на основе дерева поиска.

Постановка задачи следующая: по конвейерной ленте движутся предметы, их координаты, тип и стоимость известны в любой момент времени. Новые предметы появляются в начале конвейера некоторым «случайным» образом. Рядом с конвейерной лентой находятся корзины для каждого типа предметов. Захват может двигаться в некоторой области над конвейером и корзинами, а также может брать и отпускать предметы. Так же известна функция, которая вычисляет время на перемещение предмета из точки А в точку В. Требуется составить алгоритм управления манипулятором, что бы максимизировать стоимость предметов собранных в корзины. Решением является последовательность действий для манипулятора. Алгоритм должен выдавать следующее действие по окончании выполнения прошлого действия (anytime algorithm).

При составлении алгоритма были выдвинуты следующие предположения: все действия это перенос предмета с конвейера в нужную корзину, подбираем предметы с конвейера в порядке их появления на конвейере (против движения конвейера). Тогда все возможные решения можно представить как подмножество, состоящее из чисел от 1 до N , где N — количество предметов, т. е. $2N$ возможных решений. После очередного хода алгоритм должен выбрать номер следующего предмета. Решения оценивались суммарной стоимостью несобранных предметов. Эта величина не может уменьшаться, что позволяет действовать жадно при построении дерева решений. Итерационно добавляем вершины в лучший лист дерева до тех пор, пока это возможно. В момент хода переносим корень в выбранную вершину и отбрасываем остальную часть дерева.

2.42. *Синявский Ю.Н.* Публикация алгоритмов обработки спутниковых данных в виде WPS-сервисов

В последние десятилетия в области создания и развития средств и технологий дистанционного зондирования Земли наблюдается стремительный прогресс. С каждым годом растёт число активных спутниковых систем и упрощается доступ к данным. Спутниковые данные активно используются при решении многих практических задач, поскольку они, зачастую, являются единственным источником оперативной и объективной информации об объекте исследования. С другой стороны, регулярно появляются новые алгоритмы и совершенствуется программный инструментарий для обработки спутниковых данных.

Обеспечение оперативного доступа пользователей к новым алгоритмам — сложная и трудоёмкая задача. Существует два основных способа её решения. Первый способ заключается в реализации алгоритмов в виде модулей для распространённых коммерческих (ENVI, ERDAS Imagine, SNAP и т. д.) или открытых (GRASS GIS, QGIS и др.) пакетов, предназначенных для обработки спутниковых данных. Это связано с рядом трудностей (закрытость и высокая стоимость коммерческих пакетов; необходимость написания модулей расширения на внутреннем языке программирования; необходимость участия пользователя в процессе внедрения алгоритма и т. д.). Помимо этого, каждый программный пакет предназначен для решения некоторого (чаще всего, узкого) круга задач, поэтому базовая функциональность и пользовательский интерфейс разных пакетов существенно различается. Следовательно, для внедрения алгоритма, который можно применить при решении широкого спектра задач, может потребоваться разработка нескольких модулей расширения для разных пакетов (или даже нескольких модулей для разных версий одного пакета), что является очень трудоёмким процессом.

Второй способ внедрения новых алгоритмов заключается в реализации их в виде стандартизованных веб-сервисов *citesinyavskiy-wps*. В области обработки спутниковых данных для этого разработан стандарт WPS (Web Processing Service) [2]. Такой способ внедрения даёт пользователю, работающему в произвольном пакете программ, возможность не только комбинировать имеющиеся алгоритмы для получения оптимального решения поставленной задачи, но и выполнять обработку данных на удалённых вычислительных серверах.

В данном докладе представлена программная система для внедрения алгоритмов обработки спутниковых данных в виде WPS-процессов, разработанной в Институте вычислительных технологий СО РАН. В качестве основы системы используется пакет Image Processor, включающий набор эффек-

тивных алгоритмов обработки спутниковых изображений [3]. Пакет внедрён в открытую геоинформационную систему GRASS GIS. Для публикации алгоритмов в качестве веб-сервисов используется WPS-сервер 52north [4] и модуль *wps-grass-bridge*.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-37-00492-мол_а).

Список литературы

- [1] Добротворский Д. И., Куликова Е. А., Пестунов И. А., Синявский Ю. Н. Веб-сервисы для непараметрической классификации спутниковых данных // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2010. Т. 1. № 2. С. 171–175.
- [2] Web Processing Service. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.opengeospatial.org/standards/wps> (дата обращения 10.09.2019).
- [3] Синявский Ю. Н. Программа для обработки спутниковых изображений Image Processing Toolkit (свидетельство № 2019615674) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2019.
- [4] WPS. [Электронный ресурс]. URL: <https://52north.org/software/software-projects/wps> (дата обращения 10.09.2019).

2.43. *Счастливцев Е.Л., Быков А.А., Миков Л.С., Харлампенков И.Е.* Сервис онлайн-мониторинга пылевого загрязнения угледобывающего предприятия на основе «интернета вещей»

Рассматривается вопрос создания сервиса, в рамках которого данные, поступающие с «умных» датчиков, интегрируются в расчетную модель и используются для формирования единой картины непрерывной оценки изменения качества окружающей природной среды. Разрабатываемое решение является развитием идеи комплексного мониторинга техногенной нагрузки на атмосферу от горно-промышленного предприятия с привлечением данных дистанционного зондирования Земли, вычислительных комплексов и результатов гидрохимического анализа проб снега [1]. В данном случае средства мониторинга дополняются результатами замера массовых концентраций пыли по нескольким фракциям, выполняемых в автоматическом режиме.

Система решает задачу регулярного сбора информации от нескольких моделей датчиков и метеостанций, приведения ее к стандартному виду. Для проверки концепции выбран вариант, в рамках которого данные сначала накапливаются на устройстве, а затем периодически передаются на выделенный сервер по протоколу FTP. Сервис осуществляет наблюдение за выделенными директориями и перегружает данные в выделенную базу данных. При поступлении новых метеопараметров сервис формирует задания для вычислительного модуля. Результаты замеров и расчетов концентраций загрязняющих

веществ параметрам (Оксид углерода (CO), Диоксид серы (SO₂), Диоксид азота (NO₂), Диоксид углерода (CO₂)) отображаются на электронной карте. Изначально предполагается, что не известен период обновления данных. В связи с этим для актуализации состояния карты применяется протокол websocket [2], так как он обеспечивает отправку уведомлений о новых данных от сервера клиенту.

После отработки мониторингового сервиса он будет интегрирован в прикладной геопортал [3] горнодобывающего предприятия.

Список литературы

- [1] Опарин В. Н., Потапов В. П., Гиниятуллина О. Л. и др. Комплексный мониторинг техногенной нагрузки на атмосферу горнопромышленного региона // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 5. С. 162–171. ISSN 0015-3273.
- [2] FETTE I., MELNIKOV A. The WebSocket Protocol. RFC 6455. / Iside Ltd. 2011. [Электронный ресурс]. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc6455> (дата обращения 13.09.2019).
- [3] Ротаров В. Р., Гиниятуллина О. Л., Кхарлампенков И. Е. Technology for development of applied geoportals // CEUR Workshop Proceedings. 2017. Vol. 2033. P. 26–30. ISSN 1613-0073.

2.44. Тайлакова А. А., Пимонов А. Г. Оптимизационные методы и алгоритмы расчета конструкции нежестких дорожных одежд

Согласно ОДН 218.046-01 [1], задача расчета конструкции нежестких дорожных одежд сводится к подбору толщин слоев одежды в вариантах, намеченных при конструировании, или к выбору материалов с соответствующими деформационными и прочностными характеристиками при заданных толщинах слоев [2]. Благодаря рассмотрению большого количества вариантов возможна оптимизация конструкции нежестких дорожных одежд по общей стоимости материалов с применением методов математического моделирования. Для сокращения объема вычислений могут быть использованы эвристические методы, позволяющие получить приемлемое решение задачи, с применением численных методов, ориентированных на поиск наилучших вариантов решений из множества альтернатив, при этом избегая полного перебора и сравнения всех вариантов. Наиболее известным эволюционным алгоритмом является генетический алгоритм (ГА) [3]. Показателем устойчивости генетического алгоритма является отношение количества удачных запусков к общему числу запуска алгоритма. В ходе вычислительного эксперимента были заданы следующие параметры ГА: в эволюционной модели каждой переменной соответствует ген в хромосоме; для представления хромосом используется десятичное кодирование; размер популяции — 40 хромосом; максимальное число поколений — 100.

Для настройки ГА использовались различные комбинации операторов ГА. Для каждого случая ГА запускался 50 раз для каждой из 5 тестовых конструкций нежесткой дорожной одежды. В результате ограничений задачи большое количество хромосом оказывается непригодным, т. е. не соответствуют критериям прочности согласно ОДН 218.046-01. Для предотвращения преждевременного вырождения популяции был использован генетический алгоритм с частичной заменой популяции, иначе называемый генетическим алгоритмом с зафиксированным состоянием. Надежность алгоритма повышается, однако увеличивается объем вычислений в сравнении с каноническим ГА. Одной из проблем применения эволюционных вычислений для оптимизации мультимодальных функций является попадание в локальный экстремум. Для решения данной проблемы возможно применение гибридных генетических алгоритмов. В каждом поколении все сгенерированные потомки оптимизируются выбранным методом и затем заносятся в новую популяцию. Тем самым получается, что каждая особь в популяции достигает локального оптимума, вблизи которого она находится. Далее производятся обычные для ГА действия: отбор родительских пар, кроссинговер и мутации. На практике гибридные алгоритмы оказываются очень удачными. Это связано с тем, что вероятность попадания одной из особей в область глобального экстремума обычно велика. После оптимизации такая особь и будет являться решением задачи. Таким образом, гибридные алгоритмы показывают достаточно высокую надежность, позволяя при этом достаточно быстро найти оптимальное или близкое к оптимальному решение задачи. В ходе проведенного вычислительного эксперимента была обоснована эффективность применения эволюционных вычислений в сочетании с переборными методами для оптимизации конструкции нежестких дорожных одежд по общей стоимости материалов.

Список литературы

- [1] Отраслевые дорожные нормы. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд / Минтранс России. / М.: Информавтор, 2001. 145 с.
- [2] Тайлакова А. А., Пимонов А. Г. Web-сервис для поиска оптимальной конструкции нежестких дорожных одежд // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 6. С. 160–164.
- [3] Аверченков В. И., Казаков П. В. Эволюционное моделирование и его применение / М.: ФЛИНТА, 2016. 200 с.

2.45. Тильзо О. А. Ритейлинг при монополистической конкуренции

В работе рассматривается модель монополистической конкуренции Диксита — Стиглица, характерной особенностью которой является присутствие

на рынке репрезентативного потребителя [1]. Полезность от потребления благ выражена квадратичной функцией полезности [2], которая обеспечивает линейный вид функции спроса.

Модель Диксита – Стиглица дополняется введением ещё одного участника – ритейлера, в результате образуется двухуровневая модель вертикального рыночного взаимодействия между производителем, ритейлером и потребителем.

В экономике присутствует две разновидности продуктов. Первый вид товара представляет собой горизонтально дифференцированные продукты, т. е. некоторое разнообразие продуктов одной природы, схожих по цене, качеству, требующих равные затраты на производство, в тоже время удовлетворяющих различным потребительским вкусам, проявляющимся в приверженности различным брендам. В этих условиях выбор определяется склонностью потребителей к определенной марке, при этом рост благосостояния потребителей приводит к увеличению товарного разнообразия и появлению новых фирм на рынке. Второй вид товаров – это прочие, не конкурирующие, однородные продукты, обозначенные как «numéraire».

Предполагается, что производство каждого товара требует определенные фиксированные затраты, а также характеризуется постоянными предельными издержками. При этом каждый товар производится только одной фирмой. Каждая фирма стремится максимизировать свою прибыль, и вход на рынок происходит до тех пор, пока её присутствие на рынке является безубыточным, т. е. фирмы вступают на рынок до тех пор, пока следующий потенциальный участник не понесет убытки (условие «свободы входа и выхода»).

В работах [3, 4] описаны модели поведения участников рынка, а именно ситуации лидерства ритейлера (RL), лидерства производителей (ML), а также равновесия по Нэшу. В случае RL , ритейлер определяет количество производителей и торговую надбавку, следующим шагом производители принимают решение становиться участником рынка или нет, а также определяют свою оптовую цену. В случае ML , производители решают входить на рынок или нет, используя условие свободы входа, а затем ритейлер определяет свою торговую надбавку. В случае равновесия по Нэшу производители и ритейлер определяют оптовую цену и торговую надбавку одновременно, в условиях ограниченной информации.

В настоящей работе представлены подробные решения рассматриваемых в модели задач, дополняющие и расширяющие сформулированные ранее выводы [3]. Сравнительный анализ позволяет выявить влияние каждого типа взаимодействия на общество и потребителей, а также определить выгоды (прибыли) каждого участника рынка, в том числе и величину потребительского излишка.

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

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

Список литературы

- [1] DIXIT A. K., STIGLITZ J. E. Monopolistic competition and optimum product diversity // American economic review. 1977. Vol. 67. P. 297–308.
- [2] OTTAVIANO G. I. P., TABUCHI T., THISSE J. -F. Agglomeration and trade revised // International economic review. 2002. Vol. 43. P. 409–436.
- [3] БУКАДОРОВ И. А., КОКОВИН С. Г., ЗНЕЛОВДКО Е. В. Product diversity in a vertical distribution channel under monopolistic competition // Automation and remote control. 2014. Vol. 75. N. 8. P. 1503–1524.
- [4] БУКАДОРОВ И., ЕЛЛЕРО А., ФУНАРИ С. ET AL. Chain store against manufacturers: regulation can mitigate market distortion. / In: Y. Kochetov et al.(Eds.) Discrete optimization and operations research. DOOR 2016. Lecture notes in computer science. Heidelberg: Springer, 2016. Vol. 9869. P. 480–493.

2.46. Толстихин А.А. Разработка гибридного алгоритма оптимизации на базе Whale Optimization Algorithm

Стохастические алгоритмы оптимизации в настоящее время получили широкое распространение в различных областях, в частности, при решении комбинаторных задач и в машинном обучении. Несмотря на то, что сходимость стохастических алгоритмов к глобальному оптимуму в лучшем случае доказана только теоретически при времени работы алгоритма, стремящемся к бесконечности, множество исследований показало их высокую эффективность при решении практических задач.

В данной работе рассматривается применение популяционных метаэвристических алгоритмов дискретной оптимизации для решения задач с разными классами целевых функций: многомерные, недифференцируемые, заданные аналитически, табличным способом и другие. В ходе исследования был предложен гибридный алгоритм, комбинирующий алгоритмы серых волков (GWO) [1] и китов (WOA) [2]. Данный выбор был обоснован высокой скоростью и точностью нахождения экстремума алгоритмами по-отдельности и схожестью принципов их работы.

Математическая модель предложенного алгоритма базируется на WOA, выделяя три шаблона поведения агентов: окружение «добычи», поиск «добычи» и сближение с «добычей» по спиральной траектории (метод нападения по сети пузырьков). Каждый шаблон выполняется агентом, ориентируясь на координаты трех лидеров группы, как в GWO.

Проведенная серия тестов демонстрирует более высокую точность поиска экстремума предложенным алгоритмом на большинстве исследуемых целевых функций по сравнению с исходными алгорит-

мами. Кроме того, была продемонстрирована более высокая скорость сходимости, особенно на первых итерациях. Для чистоты эксперимента было проведено две серии тестов: с случайным и фиксированным начальным распределением агентов по обследуемой области определения функции.

Таким образом, предложенный алгоритм превосходит как родительские алгоритмы, так и все остальные, участвовавшие в тестировании. Тем не менее, для получения полной картины необходимо сравнить данный алгоритм с другими популярными метаэвристическими алгоритмами и их модификациями. Это является следующим этапом данного исследования. Кроме того, предложенный подход и все его последующие модификации планируется использовать для решения задачи описанной в [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН (программа №2, проект: «Методы и средства решения трудных переборных задач с помощью суперкомпьютеров»).

Список литературы

- [1] MIRJALILI S., MIRJALILI S. M., LEWIS A. Grey wolf optimizer // Advances in engineering software. 2014. Vol. 69. N. 1. P. 46–61.
- [2] MIRJALILI S. M., LEWIS A. The whale optimization algorithm // Advances in engineering software. 2016. Vol. 95. N. 1. P. 51–67.
- [3] TOLSTIKHIN A., BAKHVALOV S., DOROFEEV A., VAZHENOV R. The grey wolf optimizer algorithm modification for enhanced performance of autonomous underwater vehicles in a physical field survey // 7th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS 2019), Atlantis Press, 2019. P. 184–190.

2.47. Тренин С.А. Разработка и реализация алгоритмов исполнения фрагментированных программ с заданным поведением

В настоящее время практически невозможно представить себе эффективную научную деятельность без применения высокоуровневого программирования, которое, в силу своей простоты, доступно гораздо более широкой аудитории, чем программирование на низком уровне, требующее специальной квалификации. Но при повышении уровня программирования встаёт вопрос качества, например программа может иметь множество вариантов исполнения (поведение), которые могут отличаться качественно, например производительностью.

В сфере параллельного программирования в распределённой памяти проблема выбора поведения с нужными свойствами частично решается либо путём введения в язык специальных операторов и директив, задающих частичный выбор поведения (Charm++, Charisma), либо сужением предметной области, на которую ориентирована система (PaRSEC, TBLAS). Но полностью проблема выбора

и реализации поведения не решена ни в одной из существующих систем.

Целью данной работы является разработка средств для управления поведением программ и их поддержка системными алгоритмами для системы LuNA. Был расширен класс эффективно исполняемых задач на языке LuNA, а для существующего класса эффективно исполняемых задач упростились задание поведения.

Были разработаны и частично реализованы 6 алгоритмов управления поведением по 3 направлениям — динамическая балансировка нагрузки, управление распределением ресурсов и порядок исполнения фрагментов вычислений. Для реализованного метода динамической балансировки нагрузки было проведено сравнительное тестирование на кластере московского межведомственного суперкомпьютерного центра на примере решения модельной задачи, реализующей итерационный метод с параметризованным объёмом вычислений в узлах вычислителя.

В дальнейшем планируется разработка новых средств управления поведением и поддерживающих их алгоритмов.

Научный руководитель — Перепёлкин В. А.

2.48. Трусфус М.В. Математическая модель работы беспроводной точки доступа

В корпоративной среде передачи данных и голоса востребована мобильность абонента [1]. Для ее обеспечения применяются беспроводные решения при создании инфокоммуникационной инфраструктуры предприятий [2, 3].

Для корректной работы сети необходимо обеспечить каждого абонента необходимой скоростью доступа к сети. Беспроводная сеть состоит из точек доступа. Пропускная способность и зона действия каждой точки доступа ограничены. При проектировании беспроводной сети необходимо определить количество размещаемых точек доступа. Для решения данной задачи построим математическую модель работы беспроводной точки доступа.

Для проектирования беспроводной сети требуется информация о количестве размещаемых точек доступа на основе учета требований к количеству обслуживаемых абонентов и пропускной способности каждого абонента. Для решения данной задачи построена модель функционирования сети.

В случае, когда все станции постоянно используют канал связи, скорость обмена информацией между станцией и точкой доступа можно определить по формуле:

$$b = \frac{B}{N},$$

где b — скорость передачи данных, выделенная для каждой станции, B — пропускная способность канала связи, N — общее количество станций, использующих канал связи.

Данная модель применима лишь для предварительной оценки количества точек доступа. Ввиду того, что обычно характер трафика в сетях пульсирующий, т. е. пользователи обращаются к сети не постоянно, а лишь в некоторые интервалы времени, то модель использования точки доступа можно рассмотреть в виде системы массового обслуживания (СМО) [4]. Каждое обращение устройства к сети будем рассматривать как заявку, а точку доступа как множество каналов обслуживания. Количество каналов обслуживания m равняется максимальному количеству пользователей, которые могут быть обслужены одновременно.

Для коротких интервалов времени в большинстве случаев, при корректном подборе параметров, сетевой трафик можно рассматривать как Пуассоновский процесс [4]. Заявки поступают с интенсивностью λ , а время обслуживания распределено по экспоненциальному закону со средним значением $\bar{t}_{\text{обсл}}$. Если все каналы заняты, то заявка будет ожидать в очереди неограниченной длины освобождения одного из каналов. Такая модель относится к классу M/M/m по классификации Кендалла.

Интенсивность обслуживания μ вычисляется по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{\text{обсл}}}.$$

Для нормальной работы СМО интенсивность поступления заявок не должна превышать интенсивности их обслуживания:

$$\lambda < m\mu.$$

Данная модель, учитывающая характер работы беспроводной сети, позволяет на этапе проектирования сети определить интенсивность использования беспроводного канала доступа к информационным ресурсам.

Научный руководитель — к.т.н. Эминов Ф. И.

Список литературы

- [1] Трусфус М. В. Беспроводные сетевые технологии в инфокоммуникационной инфраструктуре корпораций // XXIII Тулолевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, 8–10 ноября 2017 года: Материалы конференции. Сборник докладов: в 4 т. — Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2017. Т. 2. С. 867–872.
- [2] Эминов Ф. И. Параметры для развертывания беспроводных сетей в составе системы управления предприятия // Сборник: Аналитическая механика, устойчивость и управление Труды XI Международной Четаевской конференции, посвященной 115-летию со дня рождения Н.Г. Четаева и памяти академика АН РТ Т.К. Сиразетдинова. Казань: Казанский технический ун-т им. А. Н. Туполева, 2017. С. 277–285.
- [3] Эминов Ф. И. Информационные технологии управления предприятиями / Казань: Мастер Лайн, 2015. 144 с.
- [4] Frost V., MELAMED B. Traffic modeling for telecommunications networks // IEEE Communications Magazine. 1994. Vol. 32. N. 3. P. 70–81

2.49. Трушина В.П. Метод классификации химических веществ

Важнейшая задача гигиены применения токсикантов и пестицидов заключается в разработке системы управления качеством окружающей среды, цель которой — сохранение здоровья людей в условиях интенсивной химизации сельскохозяйственного производства. В связи с этим возникают следующие вопросы. Какие из синтезированных в мировой практике пестицидов могут быть допущены к применению в сельском хозяйстве, каковы условия обеспечения безопасности использования конкретного пестицида?

Классификация химических веществ по степени токсичности и опасности служит основным научным критерием при решении этих вопросов. В разных странах существуют свои системы классификации химических веществ по степени токсичности и опасности. Отсутствие единой международной классификации, несмотря на отдельные попытки их унификаций в рамках ООН, ЕЭС, затрудняет решение вопроса о принадлежности химических веществ к тому или иному классу токсичности или опасности, что в свою очередь, отражается на решении смежных международных проблем, например, создания международной системы маркировки, международной карты данных по безопасности химических соединений.

Необходимость гармонизации существующих классификаций признано многими странами и является приоритетной задачей на международном уровне. В существующих классификациях видно различие в выборе границ классов. В качестве примера укажем на то, что к малоопасным веществам при введении в желудок ФРГ относит токсиканты (пестициды), для которых LD50 более 1000 мг/кг, а отечественный ГОСТ 12.1.007-76 относит более 5000 мг/кг, то есть крайние значения LD50 в соответствии с этими классификациями различаются более чем в 5 раз.

Следует отметить, что рассмотренные классификации имеют ряд недостатков, главным из которых является произвольность выбора границ классов по среднесмертельным уровням LD50.

Одним из фундаментальных процессов в любой науке является классификация изученных объектов. Этот тезис справедлив как для естественных объектов (атомов, молекул, растительных и животных сообществ), так и для токсикантов. В естественных условиях токсиканты представляют опасность для человека при поступлении в его организм через органы дыхания, желудок и кожу. Именно поэтому известные классификации опасности химических веществ по степени воздействия на орга-

низм содержат данные о средних смертельных дозах при введении в желудок и нанесении на кожу, а также о средних смертельных концентрациях в воздухе.

Все они имеют право на существование и признание, хотя и не лишены ряда недостатков. Во-первых, произволен и неоднозначен выбор модельного биологического объекта: мыши в классификации Саноцкого И. В., кролики в классификации токсичности веществ при нанесении на кожу Hodge H. и Sterner I., крысы в других классификациях. Во-вторых, количество классов тоже разное: три, четыре, пять, шесть. В-третьих, различаются границы классов: в одних классификациях коэффициент перехода от одного класса к другому остается постоянным, в других он варьирует, принимая разные значения.

Сказанное выше стимулирует поиск более совершенных методологических принципов классификации токсикантов, которые основываются на адекватности выбора модельного биообъекта; оптимальности числа классов; гетерогенности распределения элементов множества; структурной гармонии системы.

В качестве модельных биообъектов рассматриваются крысы, выбор которых обусловлен тем, что на них, по литературным данным, проведено наибольшее количество экспериментов при трех указанных путях воздействия (введение в желудок, нанесение на кожу, концентрация в воздухе) токсикантов. Кроме того, известны корреляционные уравнения, связывающие средне смертельные дозы токсикантов при введении в желудок крыс со средними смертельными концентрациями их в воздухе и средними смертельными дозами при нанесении на кожу. В этой связи в качестве базовой целесообразно выбрать классификацию токсикантов при введении в желудок.

На основе изложенных методологических принципов была проведена компьютерная обработка с помощью разработанных математических моделей массива токсикологических данных для 4774 химических веществ, содержащихся в базе данных, при поступлении их в желудок крыс [1]. Разработана математическая модель, позволяющая классифицировать химические вещества по степени токсичности. Научно обоснованы числовые границы классов токсичности. Представлено программное обеспечение для мобильных устройств, реализующее разработанную модель.

Научный руководитель — к.т.н. Осипов А. Л.

Список литературы

- [1] Трушина В. П., Осипов А. Л. Информационные технологии в задачах классификации токсических веществ // International Journal of Advanced Studies. 2017. Vol. 7. N. 4-2. P. 79–84.

2.50. Трушина В.П. Непараметрический метод моделирования функции эффективности

Проблема исследования зависимости проявления эффекта от дозы яда, лекарственного препарата, проникающей радиации или другого повреждающего фактора является основополагающей в токсикологии, фармакологии, радиобиологии, биохимии, микробиологии, эпидемиологии и в других областях медицины и биологии.

На современном этапе токсикометрии используются величины эффективных доз, вызывающих появление учитываемого эффекта в экспериментальной группе тест — объектов с заданной вероятностью: 0.05; 0.016; 0.5; 0.84; 0.95. Такие дозы получили название эффективных доз: ED5, ED16, ED50, ED84, ED95. Общая зависимость вероятности появления эффекта от воздействия заданной дозы определяется как функция эффективности. В качестве единого показателя для сравнения тестируемых препаратов принята среднеэффективная доза (ED50), определяемая из функции эффективности. Трудность заключается в нахождении статистически обоснованных расчетно-экспериментальных значений категорий эффективных доз, которые представляют собой случайные величины. Проблема вероятностной оценки токсического и других эффектов рассматривается как одна из важнейших в токсикометрии и других разделах биологии и широко разрабатывается исходя из задач экспериментальной практики.

Открытие Гауссом закона нормального распределения послужило основой для разработки пробит-анализа, который в разных модификациях используется до настоящего времени в качестве основного (традиционного) метода определения среднеэффективных доз. В токсикометрии особенно важное значение отводится методам определения среднеэффективных доз, так как они являются теми решающими факторами, от которых зависит способ планирования экспериментов, порядок формирования и объем исходных данных, а в конечном итоге качество, эффективность и достоверность искомых показателей токсичности. По этим признакам проблеме токсикометрической оценки показателей токсичности можно рассматривать как фундаментальную проблему теоретической токсикологии, имеющей прикладное значение для других разделов биологии и медицины.

Необходимо отметить, что для корректного применения методов пробит-анализа необходимым условием является нормальность распределения функции эффективности. Однако, в традиционных методах определения среднеэффективных доз критерии оценки нормальности функции эффективности отсутствуют, что ставит под сомнение универсальность этих методов для любой экспериментальной

ной ситуации.

Принимая во внимание приведенные доводы, становится ясно, что современная методология токсикологического эксперимента и токсикометрии требует разработки таких моделей и подходов в оценке показателей токсичности, которые бы не предъявляли каких-либо граничных условий к планированию и выполнению токсикологического эксперимента, позволяли бы использовать для нахождения конечных оценок результаты независимых единичных испытаний и основывались на законах математической статистики и теории вероятностей.

Разработана математическая модель построения функции эффективности с использованием непараметрического оценивания ядерной функции регрессии [1]. Выбрано оптимальное ядро для оценивания функции регрессии. Им оказалось ядро Епанечникова.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что для веществ, у которых функция эффективности близка к функции нормального распределения, непараметрический метод при вычислении категорий эффективных доз дает результаты, близкие к результатам классического пробит-анализа, а при значительных различиях распределения функции эффективности и функции нормального распределения непараметрический метод вычисления категорий эффективных доз дает более близкие результаты, нежели классический метод пробит-анализа. Разработано программное обеспечение для реализации непараметрического подхода к моделированию функции эффективности.

Научный руководитель — к.т.н. Осипов А. Л.

Список литературы

- [1] Трушина В. П. Компьютерная система моделирования функции эффективности // Science Time. 2014. № 12. С. 541–573.

2.51. Тугова Е.С., Бобков Е.А., Салов Д.Д., Бушуев О.Ю. Обработка выходного сигнала с датчика давления с целью диагностики его технического состояния

В настоящее время в промышленности наблюдается потребность оптимизации систем измерения и их интеллектуализация, возникает потребность в так называемых интеллектуальных датчиках [1]. Главной особенностью таких средств измерения является возможность диагностики их технического состояния или самодиагностики в процессе эксплуатации. Такие средства измерения позволяют уменьшить затраты на калибровку, предотвратить различного рода аварии и выход системы из строя. Проблема создания интеллектуального датчика давления до сих пор не решена в полной мере, поэтому актуальной является задача поиска диагностических признаков технического состояния датчиков, в том числе датчиков давления.

В настоящем исследовании для поиска диагностических признаков технического состояния проводилась серия экспериментов над группой датчиков давления компании МЕТРАН. Собраны данные с датчиков давления различного технического состояния в виде кодов давления при разных точках подаваемого давления. При обработке сигналов кодов давления были выбраны два диагностических признака: статистическая характеристика — изменение выборочного ско, частотная характеристика — изменение спектра сигнала. Данная технология диагностики использовалась для контроля состояния импульсных линий связи среды с сенсором, но не использовалась для диагностики состояния датчиков давления [2], в чем и заключается новизна исследования.

Моделирование неисправностей представлено в виде сигнала нормально распределенного шума с различной степенью рассеяния сигнала в соответствии с состоянием неисправности и состоянием самого датчика. Также в ходе исследования проведен поиск диагностического параметра, определяющий состояние неисправности датчика давления (уровень жидкости измерительного канала). Для этого были проведены эксперименты с неисправными датчиками давления с различным уровнем жидкости в измерительном канале.

В данной работе представлены схема проведения эксперимента (схема установки, на которой проводился эксперимент), схема алгоритма обработки сигналов кодов давления для определения диагностического параметра, а также определения состояния датчика давления, представлены экспериментальные данные, подтверждающие наличие диагностического параметра технического состояния датчика давления.

Данная работа выполняется по заказу и при участии АО «ПГ «Метран». Исследование поможет решить проблему диагностики датчиков давления, не изменяя при этом конструкцию преобразователя, что существенно снизит затраты на создание интеллектуального датчика давления.

Список литературы

- [1] ГОСТ Р 8.673-2009. ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Общие требования и определения. Введён 2010-12-01 / М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2009. 8 с.
- [2] KAVAKLIOGLU K., WEHRS D. L., LATTIMER D. R., ERYUREK E. Пат. 7254518B2 США. Pressure transmitter with diagnostics. Опубликовано. 16.03.2010.

2.52. Фельдман А.Г. Применение информационных технологий для обработки и интерпретации результатов полевых наблюдений геологоразведки

Актуальность настоящей работы определяется необходимостью внедрения информационных тех-

нологий в процесс обработки и интерпретации материалов полевой съемки геологоразведки [1, 2].

Цель работы заключается в уменьшении временных и материальных затрат, возникающих в процессе обработки и интерпретации полевых геофизических материалов электромагнитными методами.

Разработанная программа позволяет определять местонахождения в геологической среде аномальных объектов, проводить анализ полученных локализаций низкого или высокого электрического сопротивления, что представляет собой геофизическую информацию в составе геологоразведочных работ [3].

На первом этапе осуществляется расчет аномальных значений горизонтальной и вертикальной составляющих магнитного поля [4]. Затем строятся полные вектора магнитного поля, координатами которых являются вычисленные аномальные значения составляющих. Следующим шагом является построение нормалей к векторам и нахождение точек их пересечений. Найденный набор точек с помощью алгоритма кластеризации k-средних разбивается на группы, которые соответствуют искомым аномальным областям. Последним этапом является построение границ областей.

Применение программы позволило существенно сократить затраты времени на расчёты в процессе обработки материалов, а задействованный в нём способ обработки — увеличить глубину исследования методом БДК и локализовать аномальные зоны.

Научный руководитель — к.т.н. Молокова Н. В.

Список литературы

- [1] Иголкин В. И., Шайдунов Г. Я., Тронин О. А., Хохлов М. Ф. Методы и аппаратура электроразведки на переменном токе / Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. 272 с.
- [2] Заборовский А. И. Электроразведка / М.: Гостехиздат, 1963. 429 с.
- [3] ПАНТЕЛЕЕВ К. А., АНДРОСЕНКО О. И., ФЕЛЬДМАН А. Г. и др. Применение комплекса аппаратуры КАН-ЭММ для решения поисково-разведочных задач // Тр. VII Междунар. Конф. «Современные тенденции развития науки и производства». Кемерово: ЗапСибНЦ, 2017. Т. 1. С. 16–19.
- [4] FELDMAN A. G., MOLOKOVA N. V., RUSIN D. S., NIKOLAEVA N. V. Data Analysis in Studying the Geological Section // Proc. Intern. Conf. «Applied Methods of Statistical Analysis». Novosibirsk: NSTU publisher, 2019.

2.53. Фереферов Е.С., Ветров А.А. Создание информационной системы поддержки археологических исследований

Проведение археологических исследований связано с получением большого объема разнородной информации: пространственных данных, фотоматериалов, описаний артефактов, результатов геохимических исследований, радиоуглеродного датирования,

3D-сканирования. Применение для обработки полученных данных современных информационных технологий, в том числе геоинформационных, позволяет значительно автоматизировать процессы археологических исследований, а также повысить качество результатов и их доступность. Одной из проблем внедрения информационных технологий в археологию является отсутствие единых стандартов организации исследований и описания получаемых на каждом этапе результатов. Как правило, археологические информационные системы создаются в рамках одного проекта для исследований конкретного места или ориентированы на презентацию артефактов (виртуальные музеи).

В рамках проекта разработана архитектура и реализован прототип информационной системы поддержки археологических исследований (ИС ПАИ), обеспечивающий сбор, обработку, анализ и представление археологических данных на всех этапах исследований. Основой разрабатываемой ИС ПАИ являются технология и инструментальное средство GeoАРМ, обеспечивающие создание прикладных систем на основе декларативных спецификаций приложений [1, 2]. Использование данной технологии позволяет решить задачу гибкой модернизации — обеспечивает расширение перечня показателей без перекомпиляции всей системы, что актуально в условиях формирующихся стандартов археологических исследований. Кроме того, в GeoАРМ интегрирован картографический модуль, а также есть возможность взаимодействия с внешними подсистемами для решения специфических задач.

Работа выполнена в рамках гранта Правительства РФ (проект № 075-15-2019-866 «Байкальская Сибирь в каменном веке: на перекрестке миров»).

Список литературы

- [1] ФЕРЕФЕРОВ Е. С., БЫЧКОВ И. В., ХМЕЛЬНОВ А. Е. Технология разработки приложений баз данных на основе декларативных спецификаций // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19. № 5. С. 85–100.
- [2] VUCHKOV I. V., HMELOV A. E., FEREFEROV E. S. ET AL. Methods and tools for automation of development of information systems using specifications of database applications // RPC 2018 — Proc. 3rd Russian-Pacific Conf. on Computer Technology and Applications. 4 October 2018. 8482170.

2.54. Фомичёв М.И. Об одной оценке индивидуальной задачи коммивояжера

Целый ряд практических задач в области логистики сводится к классической задаче коммивояжера. Она заключается в поиске гамильтонова цикла с минимальной стоимостью в полном асимметричном графе. Самым известным алгоритмом решения задачи коммивояжера является алгоритм метода ветвей и границ, предложенный Дж. Литл, К. Мурти, Д. Суини и К. Кэрл в 1963 году [1]. Однако, данный алгоритм имеет экспоненциальную вре-

менную сложность. Даже для маленьких размерностей графа (50–60), время решения задачи коммивояжера является неприемлемым для конечного пользователя. Различные попытки, например, использование дополнительной памяти [2], позволяют сократить время решения задачи, но этого явно недостаточно. К сожалению, такая характеристика, как сложность индивидуальной задачи коммивояжера [3], мало пригодна для разработки и анализа ресурсно-эффективного алгоритма. Для оценки индивидуальной задачи коммивояжера предлагается рассмотреть количество изменений направления ветвления в поисковом дереве решений в результате выбора следующей вершины для процесса ветвления.

В ходе выполнения исследования были получены следующие результаты:

- основываясь на работах по сокращению времени решения задачи [2,4], представлена новая характеристика «количество изменения направления обхода поискового дерева решений»;
- представленная характеристика имеет высокую корреляцию со временем решения задачи коммивояжера;
- с помощью представленной характеристики обосновано, почему метод ветвей и границ с предвычисленным туром для решения задачи коммивояжера демонстрирует существенное влияние на сложность индивидуальной задачи, но низкое влияние на время работы алгоритма.

Научный руководитель — д.т.н. Ульянов М. В.

Список литературы

- [1] LITTLE J. D. C., MURTY K. G., SWEENEY D. W. ET AL. An algorithm for the traveling salesman problem // *Operations Research*. 1963. Vol. 11. P. 972–989.
- [2] ULYANOV M. V., FOMICHEV M. I. Resource characteristics of ways to organize a decision tree in the branch-and-bound method for the traveling salesman problem // *Business Informatics*. 2015. N. 34. P. 38–46.
- [3] KNUTH D. E. Estimating the Efficiency of backtracking programs // *Mathematics of Computing*. 1975. Vol. 29. P. 121–136.
- [4] ULYANOV M., FOMICHEV M., ZHUKOVA G. Exact time-efficient combined algorithm for solving the asymmetric traveling salesman problem // *Business Informatics*. 2018. Vol. 45. N. 3. P. 20–28.

2.55. Чернов П. С. Кроссплатформенный императивный объектно-ориентированный язык программирования высокого уровня с динамической типизацией — Mash

Разработана среда выполнения (виртуальная машина и её окружение) абстрактного структурированного не выровненного байт-кода на основе разработанной концепции и архитектуры (исходящей из обобщенной архитектуры построения стековых виртуальных машин). Разработан ассемблер (в ка-

честве промежуточного языка для трансляции кода) для трансляции кода с ассемблер-подобного языка программирования в абстрактный байт-код для разработанной виртуальной машины. Также он в процессе работы вычисляет адреса точек входа в описанные в коде методы и несет в себе кодовую базу для поддержки работы с переменными и константами. Разработана концепция объектно-ориентированного языка программирования высокого уровня с динамической типизацией, определением и приведением типов. Разработан транслятор с высокоуровневого языка программирования (язык был назван позже «Mash» [1]) в промежуточный язык — ассемблер с последующей сборкой кода в исполняемый файл для среды выполнения кода. В основе архитектуры разработанной виртуальной машины (SVM — Stack-based Virtual Machine) лежит стек указателей и таблица статической адресации. Все математические, логические и прочие операции выполняются с объектами по указателям из вершины стека. SVM имеет таблицу статической адресации, которая служит для того, чтобы хранить в своих ячейках указатели на динамически выделяемую память. Т. е. отдельные ячейки выполняют роль переменных. В SVM реализован сборщик мусора, работающий по принципу подсчета указателей (Reference Counting), поддержка перехвата и обработки исключений, поддержка многопоточности и проработана архитектура многопоточного управления памятью и сборки мусора. В SVM предусмотрены два механизма — интеграция со сторонним ПО в качестве встраиваемой VM или в качестве объединяющего архитектурного решения (Glue) и механизм, позволяющий производить отладку скомпилированных Mash приложений, при условии наличия дополнительной отладочной информации, генерируемой транслятором (на момент написания тезисов отладчик находится на этапе доработки/тестирования). Разработанный транслятор преобразует код с языка Mash в ассемблерный листинг, для последующей работы над ним ассемблером. Ассемблер встроен в транслятор. Транслятор может проводить предварительный анализ кода для выявления ошибок. Имеет оптимизатор кода, его задачи: отсечение от сборки неиспользуемого кода (например в коде объявлена функция, которая никогда в нем не вызывается — эта функция будет отсечена от общего кода), замена всех констант с одинаковыми значениями на одну, отсечение неиспользуемых констант и импортируемых методов. Разработанный язык программирования имеет очень простой и наглядный синтаксис [2], что в свою очередь в перспективе должно обеспечить низкий порог входа. Предназначен для упрощения процесса решения сложных задач, требующих построения сложных абстракций и максимально упрощает реализацию параллельных вы-

числений. Поддерживает все аспекты ООП, динамическую типизацию, интроспекцию, рефлексии, а также автоматическое приведение типов в процессе различных вычислений. Поддерживает все известные языковые конструкции из других языков программирования. Mash предоставляет разработчику полную свободу в процессе решения его задач, но при этом синтаксис и семантика языка имеют ряд ограничений, способствующих написанию красивого кода, который можно будет без труда прочитать и проанализировать другим разработчикам через некоторый период времени.

Список литературы

- [1] ЧЕРНОВ П. С. Сайт проекта языка «Mash». [Электронный ресурс]. URL: <http://mash-lang.tech> (дата обращения 25.09.2019).
- [2] ЧЕРНОВ П. С. Новый язык программирования «Mash». [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/434966/> (дата обращения 25.09.2019).

2.56. Черняк Н.М., Соболев А.Ю. Организация системы для анализа многофизичных моделей прискважинной зоны нефтенасыщенных коллекторов

В Институте нефтегазовой геологии и геофизики разработана и активно развивается методика создания многофизичной модели прискважинной зоны. На основании входных параметров моделируются изменение давлений с учетом возможного разрушения породы, движение пластовых жидкостей с изменением распределения минерализации и водонасыщенности [1]. Затем рассчитывается пространственное распределение удельного электрического сопротивления (УЭС), по которому считаются синтетические диаграммы каротажных зондов [2]. Наборы моделей и результаты расчетов объединяются в систему АТЛАС МФМ [3], и актуальным является разработка механизмов автоматизированного запуска разнородных вычислительных задач на ресурсах Института с поддержанием целостности взаимозависимых вычислений.

Система использует для взаимодействия с пользователем архитектуру клиент-сервер. При запросе пользователя с сервера команды на расчет посылаются в систему управления очередью, которая распределяет задачи между свободными вычисляющими модулями, запускаемыми из Docker-образов в режиме роя. После окончания расчета результаты также отправляются в систему очередей, где собираются и сохраняются в БД сборочным модулем и, при необходимости, инициируется следующий зависимый расчет.

Разработанная и постоянно пополняемая как новыми моделями, так и средствами моделирования для разных моделей среды, система позволяет анализировать нетривиальные зависимости диаграмм

каротажных зондов от параметров среды без необходимости ручного запуска расчетных программ.

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0015 «Реалистичные теоретические модели и программно-методическое обеспечение геоэлектрики гетерогенных геологических сред».

Список литературы

- [1] Ельцов И. Н., Назаров Л. А., Назарова Л. А. и др. Скважинная геоэлектрика нефтегазовых пластов, разбуриваемых на репрессии давления в неравнокомпонентном поле напряжений // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 5-6. С. 978–990.
- [2] Суродина И. В., Нестерова Г. В. Быстрые алгоритмы трехмерного численного моделирования показаний зондов ВИКИЗ и БКЗ, учитывающие неравнокомпонентное поле напряжений в окрестности скважины // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XV Междунар. науч. конгр. Новосибирск, 2019. Т. 2. № 3. С. 55–62.
- [3] Нестерова Г., В., Ельцов И. Н., Соболев А. Ю. База многофизичных моделей пластов АТЛАС МФМ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XV Междунар. науч. конгр. Новосибирск, 2019. Т. 2. № 3. С. 63–71.

2.57. Широков Н.К., Костюк Д.М. Разработка системы формирования виртуальных выставок литературы в ГПНТБ СО РАН

В настоящее время библиотечными сотрудниками создаются выставки научных изданий, которые информируют учёных о специализированной литературе, необходимой для их научной деятельности. Еженедельные выставки помогают читателям узнать о новых поступлениях литературы, а тематические выставки позволяют ознакомиться с литературой, посвящённой определенной предметной области или событию [1].

В ГПНТБ СО РАН создаётся более 100 выставок в год. Однако на данный момент для этого используются морально устаревшие технологии, а эффективный инструмент, позволяющий создавать выставки, используя автоматизированную библиотечную систему ИРБИС, отсутствует.

Данная работа посвящена созданию web-сервиса для формирования и визуализации виртуальных выставок. Рассмотрены существующие технологии создания виртуальных выставок, приведены их преимущества и недостатки [2, 3]. Спроектирован бизнес-процесс создания виртуальной выставки. Разработана структура клиент-сервисного взаимодействия системы, разделённой на три части: пользовательский интерфейс, административный интерфейс и сервер данных. Спроектированы элементы пользовательского взаимодействия в административном и пользовательском интерфейсе. Разработана модель хранения данных о выставках и изданиях. Административный и пользовательский клиенты реализованы с помощью технологий Node.js, Vue.js, Nuxt.js и Microsoft Azure Active Directory. Сервер данных разработан с помощью

Node.js, Express.js и MongoDB. Система протестирована и успешно внедрена в производственные процессы ГПНТБ СО РАН.

Научный руководитель — к.т.н. Гуськов А. Е.

Список литературы

- [1] САВКИНА С. В. Электронная книжная выставка как библиографический продукт // Библиосфера. 2011. № 2. С. 97–100.
- [2] ONAIFO D., RASNUSSEN D. Increasing libraries' content findability on the web with search engine optimization // Library Hi Tech. 2013. Vol. 31. N. 1. P. 87–108.
- [3] КУЛЁВА О. В. Веб-сервисы для создания виртуальных выставок в библиотеках: преимущества и недостатки // Информационные ресурсы России. 2015. № 1. С. 23–26.

2.58. Ярещенко Д.И. О моделировании многомерных безынерционных объектов с запаздыванием в условиях непараметрической неопределенности

Проблема синтеза многомерных объектов без памяти в условиях неполной информации является одной из ключевых задач системного анализа. Ниже рассматривается случай, когда выходные переменные исследуемого объекта стохастически зависимы, причем характер этих зависимостей априори неизвестен. Такие процессы, объекты типичны для предприятий металлургии, нефтепереработки, энергетики, стройиндустрии, и других процессов дискретно-непрерывного типа, а также для экономики и социальных наук. Подобные системы, технологические аппараты, группы объектов описываются системами неявных функций, но они продолжают оставаться неизвестными, а известны лишь входящие в них составные вектора, которые формируются из компонент входных и выходных векторов. Для таких систем характерным является отсутствие достаточной априорной информации на этапе математической постановки задачи. Подобные процессы, имеющие стохастические зависимости выходных переменных, названы T-процессами, а их модели соответственно T-моделями [1]. Эти модели являются достаточно новыми в теории идентификации. Основным назначением моделей T-процессов является необходимость прогнозирования выходных переменных объекта (группы объектов) при известных входных переменных. В этом случае приходим к необходимости решения системы неявных нелинейных уравнений, вид которых продолжает оставаться неизвестным. Основная идея такого подхода состоит в построении алгоритмической цепочки (а не модели, в обычном смысле этого слова), позволяющей дать прогноз значений компонент вектора выходных переменных при известных входных.

Таким образом возникает странная ситуация решения системы неявных уравнений в условиях, когда самих уравнений в привычном смысле нет. По-

этому модель объекта не может быть построена с использованием существующей теории идентификации из-за недостатка априорной информации [2]. Поэтому схема решения системы нелинейных уравнений (которые неизвестны) может быть представлена в виде некоторой последовательной алгоритмической цепочки. Сначала, на основании имеющейся обучающей выборки, включающей наблюдения всех компонент входных и выходных переменных, формируется вектор невязок. А уже после этого, на основании непараметрических оценок Надарая—Ватсона, строятся оценки выхода объекта при известных значениях входных переменных. Таким образом, при заданных значениях входных переменных T-процесса можно осуществить процедуру оценивания прогноза выходных переменных.

Проведенные достаточно объемные численные исследования T-моделей показали их хорошее качество функционирования [3]. Из этого следует, что T-модели могут быть эффективно применены в разнообразных компьютерных системах моделирования, управления и принятия решений для объектов дискретно-непрерывного типа.

Список литературы

- [1] МЕДВЕДЕВ А. В. Основы теории непараметрических систем / Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т, 2018. 727 с.
- [2] ЦЫПКИН Я. З. Основы информационной теории идентификации / Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. 320 с.
- [3] ТЕРЕШИНА А. В., ЯРЕЩЕНКО Д. И. О непараметрическом моделировании безынерционных систем с запаздыванием // Сибирский журнал науки и технологий. 2018. Т. 19. № 3. С. 452–461.

Алфавитный указатель

Samuel Ragland Francis Nadine Suzanne

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия
nadinesuzannefrancis@gmail.com

Стр. 53

Samuel Ragland Francis Natzina Juanita

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия
natzina_92@yahoo.com

Стр. 53

Аигасанова К. Л.

Стр. 18

Аксенова С. В.

Стр. 8

Алексашин Александр Сергеевич

Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия
aleksashin.a.s@yandex.ru

Стр. 6

Амелина Евгения Валерьевна

Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия
amelina.evgenia@gmail.com

Стр. 6

Аминова Гузель Абдул-Бариевна

Казанский национальный исследовательский технологический университет (Казань), Россия

Стр. 7

Антонова Ирина Олеговна

Казанский национальный исследовательский технологический университет (Казань), Россия
irina.antonova1901@mail.ru

Стр. 7

Архипов Павел Евгеньевич

Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия
vip.pahan999@mail.ru

Стр. 53

Ахметьянова Альбина Ильшатовна

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

Стр. 54

Барбараш Л. С.

Стр. 23

Батова Анна Сергеевна

Объединенный институт ядерных исследований (Дубна), Россия
anna-sergeevna00@yandex.ru

Стр. 8

Батуев Станислав Павлович

Томский государственный архитектурно-строительный университет (Томск), Россия
spbaturev@gmail.com

Стр. 38

Баюк Анастасия Андреевна

Алтайский государственный университет (Барнаул), Россия
anastasiabayuk@gmail.com

Стр. 8

Баядилов Тимур Валерьевич

Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия
bayadilovt@gmail.com

Стр. 9

Белова Алина Леонидовна

Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

Стр. 71

Беляев Василий Алексеевич

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

belyaevasily@mail.ru

Стр. 6, 9

Беляев Иван Александрович

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

Стр. 55

Бердников В. С.

Стр. 15, 21, 31

Бобков Егор Александрович

Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), Россия
respectik174@gmail.com

Стр. 85

Бобров Максим Сергеевич

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

Стр. 78

Богомякова Ольга Борисовна

Институт «Международный томографический центр» СО РАН (Новосибирск), Россия
Стр. 51

Борзилова Юлия Сергеевна

Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия
borzilova.ys@gmail.com
Стр. 55

Борисов Владимир Геральдович

Кемеровский государственный университет (Кемерово), Россия
Стр. 33

Брель Н. К.

Стр. 23

Бронская Вероника Владимировна

Казанский национальный исследовательский технологический университет (Казань), Россия
Стр. 7

Брындин Лука Сергеевич

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (Новосибирск), Россия
bryndin-1996@mail.ru
Стр. 6, 9

Бугай А. Н.

Стр. 8

Буддо И. В.

Стр. 58

Букаев Михаил Сергеевич

Алтайский государственный университет (Барнаул), Россия
bukaev.mikhail@gmail.com
Стр. 10

Бушуев О. Ю.

Стр. 85

Быков Анатолий Александрович

Институт вычислительных технологий СО РАН, кемеровский филиал (Кемерово), Россия
Стр. 79

Ванькова Ольга Сергеевна

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (Новосибирск), Россия
olga0014@gmail.com
Стр. 10

Васильчук Александр Николаевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия
anv296@gmail.com
Стр. 11

Ветров Александр Анатольевич

Иркутский государственный университет (Иркутск), Россия
Стр. 86

Видман Виталий Викторович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия
vvv23@tpu.ru
Стр. 56

Володин Иван

Пермский государственный университет (Пермь), Россия
ivanwolodin@gmail.com
Стр. 11

Володько Ольга Станиславовна

Институт вычислительного моделирования (ФИЦ КНЦ СО РАН) СО РАН (Красноярск), Россия
olga.pitalskaya@gmail.com
Стр. 12

Вяткин Александр Владимирович

Институт вычислительного моделирования СО РАН (ФИЦ КНЦ СО РАН) (Красноярск), Россия
Стр. 27

Вяткин Антон Станиславович

Институт вычислительного моделирования СО РАН (ФИЦ КНЦ СО РАН) (Красноярск), Россия
Стр. 23

Гаврилова Ксения Сергеевна

Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия
ksu483@yandex.ru
Стр. 12

Гильманов Андрей Маратович

Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), Россия
andrew_gilm@mail.ru
Стр. 13

Глушко Татьяна Александровна

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (Новосибирск), Россия
ta-savvateeva@yandex.ru
Стр. 13

Гологуш Татьяна Сергеевна

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
tatiana_06.08@mail.ru
Стр. 14

Голубева Елена Николаевна

*Институт вычислительной математики и ма-
тематической геофизики СО РАН (Новосибирск),
Россия*
Стр. 25, 51

Гончаров Аркадий Сергеевич

*Национальный исследовательский Томский поли-
технический университет (Томск), Россия*
asg19@tpu.ru
Стр. 57

Горынин Арсений Глебович

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
arsgorynin@yandex.ru
Стр. 6, 14

Гришков Виталий Афанасьевич

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
СО РАН (Новосибирск), Россия*
mitin@ngs.ru
Стр. 15

Гусев Олег Игоревич

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
gusev_oleg_igor@mail.ru
Стр. 15

Гусельникова Ольга Олеговна

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
СО РАН (Новосибирск), Россия*
mitin@ngs.ru
Стр. 15

Данилкин Евгений Александрович

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева
СО РАН (Томск), Россия*
danilkine@gmail.com
Стр. 28

Деревщиков Владимир Сергеевич

*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН
(Новосибирск), Россия*
Стр. 44

Дмитричева Регина Ринатовна

*Казанский национальный исследовательский тех-
нологический университет (Казань), Россия*
Стр. 7

Добролюбова Дарья Владимировна

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск),
Россия*
DobrolubovaDV@ipgg.sbras.ru
Стр. 16

Дубовой Андрей Владимирович

*Федеральный центр нейрохирургии (Новосибирск),
Россия*
Стр. 27, 38

Дудаев Александр Русланович

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск),
Россия*
Dudaev.Sasha@live.ru
Стр. 57

Душанов Э. Б.

Стр. 8

Евтушенко А. В.

Стр. 23

Емельянов Вячеслав Сергеевич

ООО «Сигма-Гео» (Иркутск), Россия
evs@sigma-geo.ru
Стр. 58

Ермолаева Дарья Алексеевна

*Кемеровский государственный университет (Ке-
мерово), Россия*
Dasha26071996e@gmail.com
Стр. 59

Ефремов Александр Александрович

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (ФИЦ КНЦ СО РАН) (Красноярск),
Россия*
aedampir@gmail.com
Стр. 16

Закиров Андрей Владимирович

ООО «Кинтех Лаб» (Москва), Россия
Стр. 17

Захаров Егор Андреевич

*Южно-Уральский государственный университет
(Челябинск), Россия*
zakharov_susu@mail.ru
Стр. 13

Здорнов Максим Юрьевич

Самарский университет (Самара), Россия
maks000156@yandex.ru
Стр. 59

Зипунова Елизавета Вячеславовна

*Институт прикладной математики
им. М.В. Келдыша (Москва), Россия*
e.zipunova@gmail.com
Стр. 17

Золотухина Ольга Сергеевна

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*
mitin@ngs.ru
Стр. 15

Ивашко Евгений Евгеньевич

*Институт прикладных математических исследо-
ваний КарНЦ РАН (Петрозаводск), Россия*
ivashko@krc.karelia.ru
Стр. 60

Идимешев Семен Васильевич

ООО НПП Биомер (Новосибирск), Россия
idimeshev@gmail.com
Стр. 18

Иткина Наталья Борисовна

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*
Стр. 30, 46

Кагенов А. М.

Стр. 18

Кайгородцева Анастасия Андреевна

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
nastyakaig@gmail.com
Стр. 19

Каримов Ильнар

*Казанский национальный исследовательский тех-
нологический университет (Казань), Россия*
Karimov1@mail.ru
Стр. 19

Квашнин Александр Георгиевич

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
Стр. 73

Кензин Максим Юрьевич

*Институт динамики систем и теории управления
им. В.М. Матросова СО РАН (Иркутск), Россия*
gorthauers@gmail.com
Стр. 61

Керова Ольга Игоревна

*Национальный исследовательский Томский поли-
технический университет (Томск), Россия*
takamarr@gmail.com
Стр. 20

Кикин Павел Михайлович

*Санкт-Петербургский Политехнический Уни-
верситет Петра Великого (Санкт-Петербург),
Россия*
it-technologies@yandex.ru
Стр. 61

Кириллова Наталья Евгеньевна

*Институт математики им. С.Л. Соболева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
n.kirillova@g.nsu.ru
Стр. 20

Кислицын Степан Александрович

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*
mitin@ngs.ru
Стр. 15, 21

Климонов Илья Александрович

*Институт проблем безопасного развития атом-
ной энергетики Российской академии наук (Ново-
сибирск), Россия*
ilya.klimonov@gmail.com
Стр. 21, 22

Клинов Александр Вячеславович

*Казанский национальный исследовательский тех-
нологический университет (Казань), Россия*
Стр. 19

Клышников Кирилл Юрьевич

*НИИ Комплексных проблем сердечно-сосудистых
заболеваний (Кемерово), Россия*
klyshnikovk@gmail.com
Стр. 23, 33

Козлова Софья Владимировна

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (ФИЦ КНЦ СО РАН) (Красноярск),
Россия*
sofiya_cohen@mail.ru
Стр. 23

Коков А. Н.

Стр. 23

Колесников Алексей Александрович

*Сибирский государственный университет геоси-
стем и технологий (Новосибирск), Россия*
alexeykw@yandex.ru
Стр. 61

Колосов Глеб Леонидович

*Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН (Новосибирск),
Россия*
kolosov.gleb89@mail.ru
Стр. 24, 41

Колотилов Вадим Алексеевич

*Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН (Новосибирск),
Россия*
kolotilov1992@gmail.com
Стр. 24

Кондратьев Дмитрий Александрович

*Институт систем информатики им. А.П. Ершо-
ва СО РАН (Новосибирск), Россия*
apple-66@mail.ru
Стр. 62

Коноплева Виктория Сергеевна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
konoplyova.viktoriya@yandex.ru
Стр. 25

Коробко Анна Владимировна

*Институт вычислительного моделирования
СО РАН (ФИЦ КНЦ СО РАН) (Красноярск),
Россия*
Стр. 71

Коровкин Виталий Александрович

*Национальный исследовательский Томский поли-
технический университет (Томск), Россия*
alcasar@tpu.ru
Стр. 62

Короленко Дарья Борисовна

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
dbkoroenko@gmail.com
Стр. 63

Короленко Леонид Александрович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
lakoroenko@gmail.com
Стр. 64

Короткова Юлия

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*
Juliapetrulina@yandex.ru
Стр. 65

Костылев Денис Алексеевич

*Институт динамики систем и теории управления
им. В.М. Матросова СО РАН (Иркутск), Россия*
mail@kostydenis.me
Стр. 65

Костюк Даниил Максимович

*Государственная публичная научно-техническая
библиотека СО РАН (Новосибирск), Россия*
kostukml@gmail.com
Стр. 66, 88

Костюшин Кирилл Владимирович

*Томский государственный университет (Томск),
Россия*
kostushink@hotmail.com
Стр. 18

Котоногов В. А.

Стр. 18

Кравченко Вячеслав Александрович

*Восточно-Сибирский государственный универси-
тет технологий и управления (Улан-Удэ), Россия*
krawyach@mail.ru
Стр. 66

Крайнева Марина Владимировна

*Институт вычислительной математики и ма-
тематической геофизики СО РАН (Новосибирск),
Россия*
krayneva-m@yandex.ru
Стр. 25

Криветченко Оксана Викторовна

*Новосибирский государственный университет
экономики и управления (Новосибирск), Россия*
kriv_ok@ngs.ru
Стр. 67

Кривов Максим Андреевич

*Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова (Москва), Россия*
m_krivov@cs.msu.su
Стр. 22

Кром Артур Игоревич

*Институт математики СФУ (Красноярск), Рос-
сия*
dilirion111@yandex.ru
Стр. 26

Кротова Ольга Сергеевна

*Алтайский государственный университет (Бар-
наул), Россия*
kr.olga0910@gmail.com
Стр. 68

Кузьменко Александр Павлович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
Стр. 64, 63

Кузьмичев Александр Валерьевич

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

kuzmichev.96@mail.ru

Стр. 57

Кутищева Анастасия Юрьевна

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

Kutischeva.Anastasia@yandex.ru

Стр. 26

Кучунова Елена Владимировна

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

HKuchunova@sfu-kras.ru

Стр. 27

Куянова Юлия Олеговна

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

kuyanovaj@gmail.com

Стр. 38, 27

Лещинский Дмитрий Викторович

*Томский государственный университет (Томск),
Россия*

360flip182@gmail.com

Стр. 28

Лёзина Наталья Романовна

*Институт вычислительной математики
им. Г.И. Марчука РАН (Москва), Россия*

Стр. 49

Липовка Анна Игоревна

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

lipovkaai@yandex.ru

Стр. 35

Майлин Максим Викторович

*Национальный исследовательский Томский поли-
технический университет (Томск), Россия*

maylin_max@mail.ru

Стр. 29

Максимкин Николай Николаевич

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

Стр. 61

Максимов Валерий Борисович

*Томский государственный архитектурно-
строительный университет (Томск), Россия*

Стр. 38

Малтугуева Галина Станиславовна

АО «ИОТ» (Москва), Россия

g.maltugueva@aioiot.ru

Стр. 68

Мануйко Галия Вагизовна

*Казанский национальный исследовательский тех-
нологический университет (Казань), Россия*

Стр. 7

Марзаева Виктория Ильинична

*Национальный исследовательский Томский поли-
технический университет (Томск), Россия*

marzaeva1993@gmail.com

Стр. 29

Маркидонов Артём Владимирович

*Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского
государственного университета (Новокузнецк),
Россия*

markidonov_artem@mail.ru

Стр. 30

Марков Сергей Игоревич

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

www.sim91@list.ru

Стр. 30

Маслов Евгений Анатольевич

*Томский государственный университет (Томск),
Россия*

Стр. 43

Махажанова Улжан Танирбергеновна

*Евразийский национальный университет им. Л.Н.
Гумилева (Астана), Казахстан*

umt87@mail.ru

Стр. 69

Мезенцев Юрий Анатольевич

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*

Стр. 65

Мельников Павел Владимирович

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

pvm96@yandex.ru

Стр. 70

Меркулов Максим Витальевич

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

Стр. 24

Миков Леонид Сергеевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН,
кемеровский филиал (Кемерово), Россия*
Стр. 79

Минибаева Лилия

*Казанский национальный исследовательский тех-
нологический университет (Казань), Россия*
Стр. 19

Митин Константин Александрович

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
СО РАН (Новосибирск), Россия*
mitin@ngs.ru
Стр. 15, 21, 31

Митина А. В.

Стр. 31

Михальченко Елена Викторовна

*ФНЦ Научно-исследовательский институт си-
стемных исследований РАН (Москва), Россия*
MikhalchenkoLena@yandex.ru
Стр. 31

Морозов Константин Станиславович

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*
konstantinms@ya.ru
Стр. 70

Морозова Анна Сергеевна

*Санкт-Петербургский Политехнический Уни-
верситет Петра Великого (Санкт-Петербург),
Россия*
aveeanka@gmail.com
Стр. 32

Москалев Георгий Владимирович

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск),
Россия*
Gmoskalev95@gmail.com
Стр. 32

Мукатова Жадыра Саматовна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
Стр. 25

Муханова Аягоз Асанбековна

*Евразийский национальный университет
им. Л.Н. Гумилева (Астана), Казахстан*
Стр. 69

Мяхор Дмитрий Александрович

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*
Mydial2009@gmail.com
Стр. 71

Неверов Владимир Валерьевич

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
NeverovVladim@gmail.com
Стр. 33

Овчаренко Е. А.

Стр. 23, 33

Окенов Арстанбек Окенович

*Уральский федеральный университет (Екатерин-
бург), Россия*
Стр. 52

Онищенко Павел Сергеевич

*НИИ Комплексных проблем сердечно-сосудистых
заболеваний (Кемерово), Россия*
airgone57@gmail.com
Стр. 23, 33

Осинцева Евгения Алексеевна

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*
Osinceva.j@gmail.com
Стр. 34

Остапенко Владимир Викторович

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
Стр. 14, 24

Палагина Анна Анатольевна

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
nutka911@gmail.com
Стр. 34

Панина Александра Валерьевна

*Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН (Новосибирск),
Россия*
Стр. 24

Паршин Даниил Васильевич

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
Стр. 27, 35, 38

Паскарь Сергей Юрьевич

Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга (Петропавловск-Камчатский), Россия

paskarysy@mail.ru

Стр. 35

Пахомова Кристина Игоревна

Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

krahomova@yandex.ru

Стр. 53, 71

Пененко Алексей Владимирович

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

Стр. 25

Перепёлкина Анастасия Юрьевна

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша (Москва), Россия

Стр. 17

Перминов Валерий Афанасьевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия

Стр. 20

Перов Артём Андреевич

Новосибирский государственный университет экономики и управления (Новосибирск), Россия

perov_artem@inbox.ru

Стр. 72

Першин Алексей Игоревич

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН (Новосибирск), Россия

pershin.aleksey.i@gmail.com

Стр. 36

Першин Илья Сергеевич

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша (Москва), Россия

pershin2010@gmail.com

Стр. 36

Петренко Ирина Анатольевна

Владимирский государственный университет (Владимир), Россия

Стр. 14

Печатнова Елена Владимировна

Алтайский государственный университет (Барнаул), Россия

phukcia@yandex.ru

Стр. 73

Пимонов Александр Григорьевич

Кузбасский государственный технический университет (Кемерово), Россия

pag_vt@kuzstu.ru

Стр. 80

Писарев Артем Владимирович

Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

pisarev@tecon.ru

Стр. 73

Платов Геннадий Алексеевич

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

Стр. 25

Погудалина Светлана Владимировна

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

svetli4ok2011@mail.ru

Стр. 37

Попов Андрей Валерьевич

Алтайский государственный технический университет (Барнаул), Россия

Popov.Barnaul@mail.ru

Стр. 37

Попова Анастасия Александровна

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

a.popowwa@yandex.ru

Стр. 74

Пресняков Сергей Сергеевич

Специализированный учебно-научный центр Новосибирского государственного университета (Новосибирск), Россия

sier.pr@mail.ru

Стр. 38

Приступа Павел Викторович

Национальный исследовательский Томский государственный университет (Томск), Россия

pristupa@gmail.com

Стр. 76

Прокопец Вероника Вадимовна

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (Новосибирск), Россия

velveronica@mail.ru

Стр. 77

Радченко Андрей Васильевич

Томский государственный архитектурно-строительный университет (Томск), Россия
Стр. 38

Радченко Павел Андреевич

Томский государственный архитектурно-строительный университет (Томск), Россия
radchenko@live.ru
Стр. 38

Роженко Сергей Александрович

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия
sergroj@mail.ru
Стр. 39

Рыбков Михаил Викторович

Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия
mixailrybkov@yandex.ru
Стр. 39

Рылов Сергей Александрович

Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия
RylovS@mail.ru
Стр. 77

Рыльцев Иван Александрович

Томский государственный университет (Томск), Россия
stalak133@mail.ru
Стр. 40

Рыльцева Кира Евгеньевна

Томский государственный университет (Томск), Россия
kiraworkst@gmail.com
Стр. 40

Сабуров Владимир Сергеевич

Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия
Стр. 64, 63

Саклаков Василий Михайлович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия
saklavas@mail.ru
Стр. 78

Салов Данил Дмитриевич

Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), Россия
salovdd@yandex.ru
Стр. 85

Свешников Виктор Митрофанович

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия
victor@lapasrv.sccc.ru
Стр. 21

Семенов Александр Николаевич

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (Новосибирск), Россия
gndf@ngs.ru
Стр. 24, 41

Семёнов Евгений Витальевич

Томский государственный университет (Томск), Россия
semyonov@math.tsu.ru
Стр. 41, 42

Сенотрусова Софья Дмитриевна

Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия
senotrusova.s@mail.ru
Стр. 42

Серёдкин Александр Валерьевич

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (Новосибирск), Россия
Sasha7-93@mail.ru
Стр. 78

Силкин Кирилл Андреевич

Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), Россия
silkin_kirill@mail.ru
Стр. 13

Синявский Юрий Николаевич

Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия
yorikmai@gmail.com
Стр. 79

Скворцова Валентина Дмитриевна

Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), Россия
valya.valentina.vi@yandex.ru
Стр. 13

Скибина Надежда Петровна

Томский государственный университет (Томск), Россия
uss.skibina@gmail.com
Стр. 43

Смирнов Дмитрий Дмитриевич

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

smirnovdd@mail.ru

Стр. 43

Соболев Андрей Юрьевич

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

Стр. 32, 88

Спирина Анна Александровна

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

annet1396@mail.ru

Стр. 44

Стамов Любен Иванович

ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований РАН (Москва), Россия

LyubenStamov@mail.ru

Стр. 44

Старцева Дарья Андреевна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия

starceva-dasha97@mail.ru

Стр. 45

Старченко Александр Васильевич

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (Томск), Россия

Стр. 28

Стасев А. Н.

Стр. 23

Счастливцев Евгений Леонидович

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

Стр. 79

Тагильцев Игорь Игоревич

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

i.i.tagiltsev@gmail.com

Стр. 45

Тайлакова Анна Александровна

Кузбасский государственный технический университет (Кемерово), Россия

knorka.any@mail.ru

Стр. 80

Тильзо Ольга Александровна

Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

kidanovaola@gmail.com

Стр. 80

Токарев Михаил Петрович

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

Стр. 78

Толстихин Антон Артемович

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

madstayler93@gmail.com

Стр. 65, 81

Трачева Наталья Валерьевна

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

tnv@osmf.sscs.ru

Стр. 46

Тренин Станислав Александрович

Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

strenin25@gmail.com

Стр. 82

Трофимова Светлана Алексеевна

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

svetik-missy@mail.ru

Стр. 46

Трусфус Михаил Валерьевич

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева (Казань), Россия

mtrusfus@yandex.ru

Стр. 82

Трушина Вероника Павловна

Новосибирский государственный университет экономики и управления (Новосибирск), Россия

veronika07-92@mail.ru

Стр. 83, 84

Тугова Екатерина Сергеевна

Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), Россия

tugova.katya@mail.ru

Стр. 85

Тукмаков Алексей Львович

*Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева
(Казань), Россия*
Стр. 47

Тукмакова Надежда Алексеевна

*Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева
(Казань), Россия*
nadejdatukmakova@yandex.ru
Стр. 47

Тулупов Андрей Александрович

*Институт «Международный томографический
центр» СО РАН (Новосибирск), Россия*
Стр. 51

Усов Эдуард Викторович

*Институт проблем безопасного развития атом-
ной энергетики Российской академии наук (Ново-
сибирск), Россия*
Стр. 22

Фарапонов Валерий Владимирович

*Томский государственный университет (Томск),
Россия*
Стр. 43

Фельдман Андрей Геннадьевич

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия*
anrfeldman@yandex.ru
Стр. 85

Фереферов Евгений Сергеевич

*Институт динамики систем и теории управления
им. В.М. Матросова СО РАН (Иркутск), Россия*
irkfj@mail.ru
Стр. 86

Фомичева Мария Андреевна

*Санкт-Петербургский политехнический универси-
тет Петра Великого (Санкт-Петербург), Россия*
mfomitscheva@gmail.com
Стр. 47

Фомичёв Михаил Игоревич

*Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева (Москва), Россия*
mfomichev@hse.ru
Стр. 86

Фролов Олег Юрьевич

*Томский государственный университет (Томск),
Россия*
frolov@ftf.tsu.ru
Стр. 48

Хамзин Святослав Юрьевич

*Институт иммунологии и физиологии УрО РАН
(Екатеринбург), Россия*
Стр. 52

Харлампенков Иван Евгеньевич

*Институт вычислительных технологий СО РАН,
Кемеровский филиал (Кемерово), Россия*
ivan87kharlampenkov@gmail.com
Стр. 79

Хе Александр Канчерович

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
Стр. 51

Хоров Данил Владимирович

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия*
danilkhorov@gmail.com
Стр. 50

Художиткова Дарья Алексеевна

*Новосибирский государственный университет
(Новосибирск), Россия*
khudozhitkova.da@gmail.com
Стр. 48

Черевко Александр Александрович

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
Стр. 14

Чернов Павел Сергеевич

*Новосибирский государственный технический
университет (Новосибирск), Россия*
pavel151@inbox.ru
Стр. 87

Черняк Никита Михайлович

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск),
Россия*
chernik.nsk.ru@mail.ru
Стр. 88

Чуруксаева Владислава Васильевна

*Томский государственный университет (Томск),
Россия*
Chu.VV@mail.ru
Стр. 49

Шакиров Станислав Рудольфович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
Стр. 73

Шарлов М. В.

Стр. 58

Шварц Наталия Львовна

*Институт физики полупроводников
им. А.В. Ржанова СО РАН (Новосибирск),
Россия*
Стр. 44

Шелопут Татьяна Олеговна

*Институт вычислительной математики
им. Г.И. Марчука РАН (Москва), Россия*
tania_chel@list.ru
Стр. 49

Шелохов И. А.

Стр. 58

Ширапов Дашадондок Шагдарович

*Восточно-Сибирский государственный универси-
тет технологий и управления (Улан-Удэ), Россия*
Стр. 66

Широков Никита Константинович

*Государственная публичная научно-техническая
библиотека СО РАН (Новосибирск), Россия*
braindefender@gmail.com
Стр. 66, 88

Шурина Элла Петровна

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск),
Россия*
Стр. 16, 46

Шутов Алексей Валерьевич

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
Стр. 19, 45

Щербаков Павел Константинович

*Институт вычислительных технологий СО РАН
(Новосибирск), Россия*
1doffys@gmail.com
Стр. 50

Щербанюк Александр Михайлович

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия*
shcherbanjuk.alexandr@mail.ru
Стр. 50

Якшина Дина Фаруковна

*Институт вычислительной математики и ма-
тематической геофизики СО РАН (Новосибирск),
Россия*
iakshina.dina@gmail.com
Стр. 51

Янькова Галина Сергеевна

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (Новосибирск), Россия*
galinka0395@mail.ru
Стр. 51

Япаров Богдан Ярославович

*Уральский федеральный университет (Екатерин-
бург), Россия*
bogdan.iaparov@urfu.ru
Стр. 52

Ярещенко Дарья Игоревна

*Сибирский федеральный университет (Красно-
ярск), Россия*
YareshenkoDI@yandex.ru
Стр. 89

Яцких Алексей Анатольевич

*Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН (Новосибирск),
Россия*
Стр. 24, 41

О снятии ответственности

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

Ответственные за выпуск

Гусев О.И., Рылов С.А.

Компьютерная верстка в системе \LaTeX

Гусев О.И., Рылов С.А., Борзилова Ю.С.,
Мельник П.В., Синявский Ю.Н., Сенотрусова С.Д.,
Филатова А.К., Чеховской И.С., Щербаков П.К.

Подписано к печати 14.10.2019.

Формат 60 × 84 1/8. Тираж 150 экз. Заказ № 701

Отпечатано в ООО «Дигит Про».

630005, г. Новосибирск, ул. Журинская, д. 78, пом. 208



<http://conf.nsc.ru/ym2019>
<https://vk.com/ymconf>