

Федеральный исследовательский центр информационных  
и вычислительных технологий

XXVI Всероссийская конференция  
молодых учёных  
по математическому моделированию  
и информационным технологиям

Тезисы докладов

Алфавитный указатель участников

Новосибирск  
10–14 ноября 2025 г.

УДК 004, 519.6  
ББК 22.19, 32.81  
М34

Тезисы XXVI Всероссийской конференции молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям. г. Новосибирск, Россия, 10–14 ноября 2025 г. — Новосибирск: ФИЦ ИВТ, 2025. — 92 стр.

Конференция организуется с целью обсуждения 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 задач, представленных в докладах участников.

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

#### **Организаторы конференции:**

- Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий
- Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
- Институт вычислительного моделирования СО РАН

Ответственные за выпуск: Гусев О. И., Скиба В. С., Синявский Ю. Н., Рылов С. А.

ISBN: 978-5-905569-30-2

© Федеральный исследовательский центр информационных  
и вычислительных технологий, 2025

## **Программный комитет:**

- д.ф.-м.н. С. Б. Медведев (Новосибирск) — председатель
- академик М. П. Федорук (Новосибирск) — заместитель председателя
- к.т.н. С. А. Рылов (Новосибирск) — ученый секретарь
- академик С. И. Смагин (Хабаровск)
- академик В. В. Шайдунов (Красноярск)
- чл.-корр. РАН В. М. Садовский (Красноярск)
- профессор А. А. Лагутин (Барнаул)
- профессор В. В. Москвичев (Красноярск)
- профессор В. П. Потапов (Кемерово)
- профессор О. И. Потатуркин (Новосибирск)
- профессор Б. Я. Рябко (Новосибирск)
- профессор В. В. Сергеев (Самара)
- профессор А. Н. Фионов (Новосибирск)
- д.т.н. В. Б. Барахнин (Новосибирск)
- д.ф.-м.н. О. Ф. Воропаева (Новосибирск)
- д.ф.-м.н. Б. С. Мерзликин (Томск)
- д.ф.-м.н. Б. В. Семисалов (Новосибирск)
- доцент Р. В. Брежнев (Красноярск)
- к.ф.-м.н. И. А. Пестунов (Новосибирск)
- к.т.н. И. Ю. Турчановский (Томск)
- доцент А. В. Шалунов (Бийск)

## **Организационный комитет:**

- к.т.н. С. А. Рылов (Новосибирск) — председатель
- к.ф.-м.н. О. И. Гусев (Новосибирск) — заместитель председателя
- к.т.н. А. А. Жирнов (Новосибирск) — секретарь
- к.ф.-м.н. А. Г. Горынин (Новосибирск)
- к.т.н. Ю. Н. Синявский (Новосибирск)
- асп. Р. А. Калашников (Новосибирск)
- асп. Г. А. Патрин (Новосибирск)
- зав. отделом В. Д. Котлер (Новосибирск)
- м.н.с. И. В. Кузнецова (Новосибирск)
- м.н.с. М. В. Платонова (Новосибирск)
- м.н.с. В. С. Скиба (Новосибирск)
- м.н.с. Ч. А. Цгоев (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**

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

### **3. Высокопроизводительные и распределённые вычисления**

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

### **4. Информационные и геоинформационные системы**

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

### **5. Интеллектуальный анализ данных и задачи искусственного интеллекта**

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

### **6. Управление, обработка, защита и хранение информации**

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

### **7. Автоматизация и теория управления**

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

## Содержание

Тезисы докладов .....	6
1. Пленарные доклады .....	6
2. Вычислительные технологии .....	7
3. Информационно-вычислительные технологии .....	32
4. Информационные технологии .....	43
Алфавитный указатель участников .....	66

## 1. Пленарные доклады

### 1.1. *Болдаков В.С.* Как устроен и что умеет современный ИИ

В докладе представлен обзор технологий искусственного интеллекта, которые сегодня активно меняют индустрию. Мы последовательно рассмотрим фундаментальные компоненты, лежащие в основе их быстрого развития. Начнём с архитектуры Трансформера и ее ключевого компонента — механизма внимания, который позволил моделям эффективно работать со сложным контекстом.

Далее мы обсудим масштабируемость как одну из главных причин успеха современного ИИ. Увидим, как одновременный рост объемов данных, числа параметров и вычислительных мощностей приводит к качественному улучшению возможностей моделей.

Рассмотрим многоэтапный процесс обучения: от фундаментального pretraining на больших массивах данных до этапов тонкой настройки (SFT) и обучения с подкреплением (RL). Наконец, мы коснемся мультимодальных моделей, способных работать с информацией из разных доменов. Доклад завершится практическим обзором задач, которые можно делегировать ИИ уже сегодня.

### 1.2. *Бондаренко И.Ю.* Что приближает нас к сильному ИИ?

Слабый ИИ уже здесь: одни специализированные системы обыгрывают чемпионов мира по шахматам, другие — распознают лица, третьи — понимают голосовые команды. Но что нужно, чтобы создать ИИ, который был бы одновременно способен понять лекцию, поддержать шутливый диалог и спланировать свои действия в трёхмерном мире? В ходе доклада мы поговорим о том, что путь к сильному ИИ лежит не через создание более сложных алгоритмов для узких задач, а через построение универсальных коммуникативных систем GPT-подобной архитектуры. Именно мультимодальные языковые модели — системы, обучающиеся на тексте, звуке и изображениях, — становятся тем самым «универсальным базисом», который позволяет преодолеть пропасть между специализированными программами и интеллектом общего назначения.

Мы рассмотрим архитектурные принципы, стоящие за этим прорывом, и обсудим открывающиеся перспективы.

### 1.3. *Володько О.С., Лев Н.А., Полянчикова Д.В.* Прогнозирование концентрации загрязняющих веществ в атмосфере промышленных городов на основе моделей машинного и глубокого обучения

В современном мире загрязнение атмосферного воздуха промышленных городов является одной из наиболее острых экологических и социально-

экономических проблем. Особую тревогу вызывает загрязнение воздуха твердыми взвешенными частицами PM<sub>2.5</sub> ( $d \leq 2.5$  мкм), которые способны проникать глубоко в легкие и кровеносную систему, оказывая негативное влияние на здоровье населения. Существующие системы мониторинга не обеспечивают прогнозирования уровня загрязнения, что делает актуальной разработку точных моделей для заблаговременного предупреждения населения и принятия управленческих решений. Прогнозирование уровня концентраций взвешенных частиц PM<sub>2.5</sub> рассматривается на примере крупного промышленного города — Красноярска, административного центра Красноярского края. Спецификой метеорологических условий в городе являются температурные инверсии, создающие устойчивые загрязненные слои в приземном слое атмосферы в зимний период.

Современные подходы к прогнозированию качества воздуха включают регрессионные модели, методы анализа временных рядов (ARIMA, ARIMAX), ансамблевые алгоритмы и глубокое обучение [1, 2]. Среди них модели на основе LSTM (Long Short-Term Memory) демонстрируют наиболее высокую эффективность благодаря способности улавливать сложные временные зависимости.

В работе проведено сравнение эффективности различных моделей машинного обучения для прогнозирования концентрации PM<sub>2.5</sub> в г. Красноярске. Показано, что нейросетевая модель LSTM, обученная на данных с сезонным разделением, значительно превосходит по точности регрессионные, ARIMA/ARIMAX, ансамблевые и бустинговые модели, демонстрируя значения  $MAE \leq 1.63$  мкг/м<sup>3</sup> и  $R^2 \geq 0.80$ . Наилучшие результаты достигнуты при добавлении в признаки метеопараметров, что особенно актуально для города с неблагоприятными метеорологическими условиями.

Разработанная нейросетевая модель реализована в виде программного комплекса [3], который внедряется в систему экологического мониторинга г. Красноярска и может быть применен для прогноза загрязнения атмосферного воздуха в других промышленных городах.

*Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2025-1606).*

#### Список литературы

- [1] LIN M. D., LIU P. Y., HUANG C. W., LIN Y. N. The application of strategy based on LSTM for the short-term prediction of PM<sub>2.5</sub> in city // Science of The Total Environment. 2024. Vol. 906. Art. 167892.
- [2] DAS R., MIDDYA A. I., ROY S. High granular and short term time series forecasting of pm 2.5 air pollutant—a comparative review // Artificial Intelligence Review. 2024. Vol. 55. N. 2. P. 1253–1287.

- [3] Володько О. С., Лев Н. А. Программный комплекс для прогнозирования величины концентрации PM<sub>2.5</sub> в атмосферном воздухе г. Красноярска на основе нейросетевой модели временных рядов LSTM (свидетельство № 2025682974) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2025.

## 2. Вычислительные технологии

### 2.1. *Арендаренко М.С.* Анализ погрешности SPH-аппроксимации функции многих переменных и её градиента

Гидродинамика сглаженных частиц (Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH) — численный метод решения уравнений математической физики, в котором аппроксимация пространственных производных производится без сетки с использованием сглаживающего ядра. При этом точность моделирования зависит не только от схемы аппроксимации дифференциального оператора, но также от вида ядра, численных параметров схемы (размер ядра и количество соседних частиц), равномерности расположения частиц в расчётной области. Для оценки погрешности аппроксимации функции и её пространственных производных существует подход, основанный на разложении функции в многомерный ряд Тейлора [1].

Данный подход был применён к различным схемам SPH-аппроксимации градиента [2] при использовании нескольких видов ядер, включая ядра высокого порядка. Были получены виды погрешности для случаев конечного и предельного (бесконечно большого) количества соседних частиц. Показано, как из требования минимизации погрешности следуют условия на функцию ядра и способ расстановки частиц.

Анализ погрешностей показал, что оптимизацию вычислительных затрат при заданной точности следует проводить по совокупности численной схемы и вида сглаживающего ядра, вместо их независимого исследования по отдельности.

*Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (грант № 23-11-00142).*

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

#### Список литературы

- [1] FATENI R., MANZARI M. T. Error estimation in smoothed particle hydrodynamics and a new scheme for second derivatives // Computers and Mathematics with Applications. 2011. Vol. 61 (2). P. 482–498.
- [2] BURMISTROVA O., MARKELOVA T., ARENDARENKO M., STOYANOVSKAYA O. A New Method for Approximating of First Derivatives in Smoothed Particle Hydrodynamics: Theory and Practice for Linear Transport Equation // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2025. Vol. 46. P. 43–54.

### 2.2. *Базылев Д.Н., Ляховский М.В., Шахин Р.* Робастный алгоритм оценивания переменных состояния синхронного двигателя

Синтез методов бессенсорного управления синхронными двигателями является сложной и актуальной задачей, которая требует разработки алгоритмов оценивания переменных состояния [1, 2]. Основные сложности при решении данной задачи за-

ключаются в нелинейной модели двигателей, неизмеримости ряда переменных состояния, неопределённости параметров и наличии шумов в измерениях.

В данной работе рассматривается задача оценки переменных состояния синхронных двигателей с постоянными магнитами с неопределёнными параметрами при наличии шумов в измерениях тока статора. Ключевая особенность предлагаемого наблюдателя магнитного потока, углового положения и скорости ротора заключается в том, что используются только измерения токов статора и управляющих напряжений. Кроме того, предполагается, что ряд параметров двигателя неизвестен.

Представленный подход основан на нелинейном преобразовании модели двигателя, которое приводит к линейной регрессионной модели с неизвестными параметрами, и применении динамического расширения и смешивания регрессора. Разработанный алгоритм генерирует оценки нескольких параметров, которые используются для восстановления значений переменных состояния.

Разработанный наблюдатель обеспечивает глобальную экспоненциальную сходимость, если соответствующая регрессионная функция удовлетворяет условию незагущающего возбуждения. Более того, предложена модификация подхода, гарантирующая сходимость ошибок оценок переменных состояния и параметров к нулю за конечное время при менее строгих условиях. При этом обеспечивается робастность по отношению к неизвестным параметрам и шумам в измерениях тока. Результаты моделирования демонстрируют эффективность предлагаемого решения для типового сценария работы двигателя.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-11-2023-015 от 10.02.2023, «Создание высокотехнологичного серийного производства энергоэффективных синхронных электродвигателей со встроенным интеллектуальным датчиком положения и функциями самодиагностики для робототехники и цифровых систем автоматизации».*

*Научный руководитель — к.т.н. Базылев Д. Н.*

#### **Список литературы**

- [1] VERRELLI C. M., TOMEI P., LORENZANI E. ET AL. Nonlinear tracking control for sensorless permanent magnet synchronous motors with uncertainties // Control Engineering Practice. 2017. Vol. 60. P. 157–170.
- [2] NAM K. H. AC motor control and electrical vehicle applications / CRC press, 2018.

#### **2.3. Балохонов В.Р. Моделирование фазового перехода в поликристаллическом никелиде титана с композитным покрытием**

Покрытие синтезировано при температуре 900° С из трехслойного наноламината Ti/Ni/Ti на под-

ложке TiNi в среде аргона [1]. Методом EBSD анализа экспериментально исследована поликристаллическая структура композита «TiNi подложка — Ti4Ni2 слой покрытия — TiO слой покрытия». Путем графической обработки экспериментальных изображений создана модельная пиксельная структура поликристаллического композита, проведена идентификация ориентации отдельных зерен и создана воксельная конечно-элементная сетка для решения краевых динамических задач в ABAQUS/Explicit с учетом упругой и пластической анизотропии зерен-кристаллитов. Проведены расчеты растяжения и разгрузки, а также сжатия и разгрузки поликристаллической структуры с учетом упругих фазовых трансформаций в никелиде титана и пластического течения в Ti4Ni2 слое покрытия и разрушения в Ti4Ni2 и TiO слоях покрытия. Показано, что в результате различной ориентации зерен в поликристалле вблизи границ и тройных стыков зерен возникают концентрации напряжений, которые приводят к неоднородному напряжённно-деформированному состоянию образца, локализованному пластическому течению в покрытии с последующим растрескиванием, а также зарождению и распространению упругих обратимых фазовых трансформаций в никелиде титана. Установлено, что пластическое течение Ti4Ni2 слоя и разрушение Ti4Ni2 и TiO слоев покрытия приводит к перераспределению полей напряжений и деформации в подложке из никелиде титана и влияет на характер зарождения и распространение фазовых превращений. Остаточная пластическая деформация в Ti4Ni2 и трещины в покрытии, возникающие при активном растяжении либо сжатии структуры, способствуют тому, что после разгрузки образца с покрытием в никелиде титана наблюдается остаточный мартенсит, который преимущественно локализуется вблизи границы раздела между слоем покрытия и подложкой, а также вокруг зерна Ti4Ni2, расположенном в подложке из никелида титана. При сжатии покрытие разрушается более интенсивно.

*Работа выполнена в рамках программы ТГУ Приоритет 2030.*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Балохонов Р. Р.*

#### **Список литературы**

- [1] BAIGONAKOVA G. A., MARCHENKO E. S., YASENCHUK Y. F. ET AL. Microstructural characterization, wettability and cytocompatibility of gradient coatings synthesized by gas nitriding of three-layer Ti/Ni/Ti nanolaminates magnetron sputtered on the TiNi substrate // Surface and Coatings Technology. 2022. Vol. 436. Art. 128291.

#### 2.4. Баранчиков В.Р. Расчет интеграла столкновений, описывающего изотропные четырёхволновые взаимодействия в нелинейных моделях гидродинамики

Волновая турбулентность — это состояние сплошной среды, характеризующееся наличием случайных взаимодействующих волн. Для описания однородного изотропного слаботурбулентного взаимодействия волн в бозе-газе в работе [1] получено 4-х волновое кинетическое уравнение с интегралом столкновений в правой части:

$$\frac{dn_\omega}{dt} = \int_{\Delta} \mathcal{P}(\omega, \omega_2, \omega_3) [n_\delta n_2 n_3 + n_\omega (n_2 n_3 - n_\delta n_3 - n_\delta n_2)] d\omega_2 d\omega_3, \quad (1)$$

где  $n_\omega = n(\omega, t)$  — спектр волнового действия, зависящий от частоты волны  $\omega$  и от времени  $t > 0$ ,  $n_i = n(\omega_i, t)$ ,  $i = 2, 3$ ,  $n_\delta = n(\omega_\delta, t)$ ,  $\omega_\delta = \omega_2 + \omega_3 - \omega$ ,  $\Delta = \{(\omega_2, \omega_3) : \omega_2, \omega_3, \omega_\delta \geq 0\}$  — 2D область интегрирования,

$$\mathcal{P}(\omega, \omega_2, \omega_3) = \frac{4\pi^3}{\sqrt{\omega}} \min[\sqrt{\omega}, \sqrt{\omega_2}, \sqrt{\omega_3}, \sqrt{\omega_\delta}]$$

— ядро интеграла столкновений. Уравнение (1) имеет точное стационарное решение — спектр Колмогорова — Захарова:

$$n_\omega \sim \omega^{-7/6}. \quad (2)$$

Следуя [2], будем искать решение (1) на ограниченном интервале  $\omega \in [\omega_{min}, \omega_{max}]$ . Тогда область  $\Delta$  также становится ограниченной (см. рис. 2 в [2]). Для организации расчётов  $\Delta$  была разбита на несколько подобластей, в каждой из которых подынтегральная функция имеет высокий порядок гладкости. Каждая подобласть отображена в канонический квадрат  $[-1, 1]^2$ . Далее, в силу теоремы Фубини, вместо двойного мы получим повторный интеграл и сведём задачу к поиску 1D интеграла вида:  $I^g[f] = \int_{-1}^1 g(x) f(x) dx$ , где  $g(x)$  имеет особенности в окрестности границ отрезка  $[-1, 1]$ ,  $f(x)$  — функция высокого порядка гладкости. Затем для расчета интеграла применим квадратурные формулы Гаусса (КФГ). Для адаптации метода к особенностям функции  $g(x)$  применим предварительно замену переменной:

$$x = h_\delta(y) = \delta + \varepsilon \sinh\left(\frac{y-1}{2}(a^+ + a^-) + a^-\right),$$

где  $\delta \in \mathbb{R}$  — координата особой точки,  $\varepsilon > 0$  — параметр численного метода,  $a^\pm = \sinh^{-1}\left(\frac{1 \pm \delta}{\varepsilon}\right)$ .

Далее мы можем приближенно вычислить интеграл  $I^g[f]$ :  $\int_{-1}^1 g(h_\delta(y)) f(h_\delta(y)) h'_\delta(y) dy \approx$

$\sum_{i=1}^N w_i g(h_\delta(y_i)) f(h_\delta(y_i)) h'_\delta(y_i)$ , где  $w_i$  — веса КФГ,  $y_i$  — узлы КФГ.

Таблица. Значения  $\nu$ .

	$\varepsilon = 10^{-1}$	$\varepsilon = 10^{-3}$	$\varepsilon = 10^{-5}$	$\varepsilon = 10^{-7}$
$N=32$	-1.1712	-1.7893	-2.4219	-2.2618
$N=64$	-1.4669	-2.0097	-2.7834	-2.9410
$N=128$	-1.6544	-2.2456	-3.4023	-3.5334

Для тестирования метода вычислим логарифм относительной погрешности:  $\nu = \log_{10} \left| \frac{I_{N,\varepsilon}}{M} \right|$ , где  $I_{N,\varepsilon}$  — приближённое значение интеграла столкновений на решении (2) (точное значение есть ноль),  $M$  — наибольшее по модулю значение интеграла по каждой из подобластей.

Из таблицы видно, что уже при небольших  $N$  точность расчета интеграла довольно высокая, однако можно заметить, что  $\nu$  ведет себя немонотонно по  $\varepsilon$ , в связи с этим возникает задача поиска оптимального значения  $\varepsilon_{opt}$ , которое зависит от соотношений между  $\omega$ ,  $\omega_{min}$ ,  $\omega_{max}$  и  $N$ .

*Работа выполнена при поддержке Математического Центра в Академгородке, соглашение с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2025-348.*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Семисалов Б. В.*

#### Список литературы

- [1] ZHU Y., SEMISALOV B. V., KRSTULOVIC G., NAZARENKO S. V. Testing wave turbulence theory for the Gross-Pitaevskii system // Phys. Rev. E. 2022. Vol. 106. Art. 014205.
- [2] SEMISALOV B. V., GREBENEV V. N., MEDVEDEV S. B., NAZARENKO S. V. Numerical analysis of a self-similar turbulent flow in Bose-Einstein condensates // CNSNS. 2021. Vol. 102. Art. 105903. P. 83–108.

#### 2.5. Беляев Е.С., Каблуков С.И., Лобач И.А. Моделирование динамики параметров генерации излучения волоконного лазера с самосканированием частоты

Перестраиваемые лазеры широко применяются в научных и технических задачах, включая оптические измерения, спектроскопию и рефлектометрию. Особый интерес представляют самосканирующие лазеры (ССЛ), в которых перестройка частоты излучения происходит без внешнего управления и основана на внутренней спектральной селекции, обеспечиваемой самим лазерным излучением. Проектирование и оптимизация характеристик ССЛ представляют собой сложную и трудозатратную задачу, требующую значительных временных и материальных вложений. Эффективным решением этой проблемы является численное моделирование

работы лазера. В частности, моделирование позволяет предсказать поведение лазера на основе расчетов и сократить время на подбор оптимальных параметров.

Целью данной работы является моделирование иттербиевого волоконного ССЛ на основе линейного резонатора Фабри—Перо. В основе модели лежит система дифференциальных уравнений, описывающая взаимодействие встречных волн через формирование динамической решетки населенности [1]. Именно этот процесс ответственен за эффект самосканирования частоты излучения. Моделирование системы проводилось с помощью метода Рунге—Кутты. В ходе численных исследований удалось наблюдать динамику интенсивности и частоты генерации лазера, характерную для ССЛ: генерацию микросекундных импульсов с изменением оптической частоты между ними. В работе проведено систематическое исследование влияния физических параметров лазера (длина резонатора, коэффициенты усиления, параметры активной среды) и параметров моделирования (шаг по времени, величина добавляемого шума) на свойства выходного излучения. В докладе будут представлены основные результаты моделирования и их сравнение с экспериментальными данными реального ССЛ.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-12-00186, <https://rscf.ru/project/25-12-00186/>.*

#### Список литературы

- [1] Fotiadi A. A., Taylor J. R., Коровко D. A., Zolotovskii I. O. Brillouin-like amplification in rare-earth-doped optical fibers // Opt. Soc. Am. 2021. P. 1–5.

#### 2.6. Брызгалин Д.М. Численное исследование оператора проектирования на устойчивое подпространство уравнения тепло-вой конвекции в приближении Буссинеска в задаче о каверне

Одним из направлений вычислительной математики и математического моделирования, имеющем важное прикладное значение, является теоретическое и численное исследование устойчивости решений в окрестности стационарных режимов уравнений Буссинеска—Обербека и их упрощённых моделей типа приближения Буссинеска. Уравнения в безразмерной форме имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} &= \Delta \mathbf{u} + GrT\mathbf{e}_2 - \nabla p, \\ \nabla \cdot \mathbf{u} &= 0, \\ \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{1}{Pr} \Delta T, \end{aligned}$$

где  $\mathbf{u}$  — поле скорости,  $T$  — температура,  $p$  — давление,  $Gr$  — число Грасгофа,  $Pr$  — число Прандтля.

Для ускорения выхода на стационарный режим вычисляется оператор проектирования [1], для этого исследуется структура собственных функций оператора Буссинеска для нулевых краевых условий. В работе численно реализован алгоритм для решения спектральной задачи [2] на смещенных сетках [3, 4]. Показана динамика изменения нормы решения этой задачи с начальными и краевыми условиями в случае постоянной температуры, а также исследован механизм влияния температуры жидкости на формирование/разрушения неустойчивых вихрей. Полученные результаты позволили ускорить время выхода на стационарный режим.

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Корнев А. А.*

#### Список литературы

- [1] Fursikov A. Real Processes and Realizability of a Stabilization Method for the Navier-Stokes Equations by Boundary Feedback Control // Nonlinear Problem in Mathematical Physics and Related Topics. In Honor of Professor O.A.Ladyzhenskaya. 2002. Vol. 2. P. 137–177.
- [2] Иванчиков А. А. Численное решение некоторых спектральных задач для уравнений Стокса // Вычисл. мет. программирование. 2003. Т. 4. № 1 (433). С. 227–243.
- [3] Лебедев В. И. Разностные аналоги ортогональных разложений, основных дифференциальных операторов и некоторых краевых задач математической физики. I // Журн. вычисл. матем. и матем. физ. 1964. Т. 3. № 4. С. 449–465.
- [4] Лебедев В. И. Разностные аналоги ортогональных разложений, основных дифференциальных операторов и некоторых краевых задач математической физики. II // Журн. вычисл. матем. и матем. физ. 1964. Т. 4. № 4. С. 649–659.

#### 2.7. Бугоец И.А., Семисалов Б.В. О вычислении точных и приближённых решений уравнения Бюргерса с применением дробно-рациональных аппроксимаций

Зачастую прикладные задачи механики сплошной среды неразрешимы аналитически, ввиду чего для их решения требуется создавать высокоточные численные алгоритмы. В этом контексте значительный интерес представляет анализ уравнения Бюргерса (УБ), описывающего течение вязкой несжимаемой жидкости. Важными задачами также являются тестирование алгоритма и верификация его результатов с применением известных решений.

В данной работе предложен новый алгоритм численного решения начально-краевой задачи для УБ

$$\begin{cases} u_t + uu_x = \nu u_{xx}, & x \in [-1, 1], \quad t \in [0, T], \\ u(0, x) = \sin(\pi(x+1)), \\ u(t, -1) = 0, \quad u(t, 1) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\nu$  — кинематическая вязкость (малый параметр),  $u(t, x)$  — скорость течения жидкости,  $t$  — время,  $x$  — координата частицы жидкости. Впервые решение УБ получено при значениях  $\nu = 10^{-5}, 10^{-6}$ .

Большинство известных методов при таких значениях  $\nu$  не работают.

Для верификации разработанного алгоритма используется аналитическое решение, полученное с помощью замены Коула—Хопфа. Важно отметить, что вычисление этого решения для малых  $\nu$  в задаче (1) представляет существенную проблему, для преодоления которой необходимы модификации классических формул.

В предложенном численном алгоритме область определения задачи  $\{(t, x) : t \in [0, T], x \in [-1, 1]\}$  представляется в виде множества прямоугольных ячеек  $[\tau_k, \tau_{k+1}] \times [-1, 1]$ , где  $\tau_0 = 0$ ,  $\tau_{k+1} = \tau_k + d_k$ ,  $k = 0, \dots, K$ ,  $\tau_K = T$ ,  $d_k$  — размер шага по времени. Для поиска решения в каждой ячейке используется метод установления. При этом решение УБ приближается прямым произведением дробно-рациональной барицентрической интерполяции по  $x$ , и интерполяционного полинома по  $t$  с узлами Чебышева, учитывающим краевые и начальные условия [1]. В алгоритме реализована эффективная адаптация сетки по  $x$  к градиенту решения [2].

Результаты расчётов приведены в таблице, где  $N$  — количество узлов по пространству,  $M$  — число узлов по времени в каждой ячейке,  $K$  — число ячеек,  $2N + 1$  — число узлов квадратурных формул для подсчета точного решения. Алгоритм демонстрирует устойчивую сходимость при увеличении числа ячеек  $K$  (см. строки 3,5 и 4,6), а также позволяет управлять точностью и вычислительными затратами, за счёт выбора параметров  $N$ ,  $M$  и  $K$ .

Таблица. Параметры численного решения задачи, погрешность в норме Чебышева ( $err$ ) и время расчётов в секундах  $time$ .

$\nu$	$T$	$N$	$M$	$K$	$H$	$err$	$time$
1.e-2	0.5	100	10	20	500	3.66e-12	28.2
1.e-2	1	100	10	20	500	2.26e-12	28.3
1.e-3	0.5	200	18	10	500	6.49e-07	119.9
1.e-3	1	200	18	20	500	1.54e-08	240.9
1.e-3	0.5	100	18	40	500	1.30e-06	109.6
1.e-3	1	100	18	40	500	9.95e-06	110.5
1.e-4	0.5	250	18	100	1000	6.44e-05	1213.5
1.e-4	1	250	18	200	2000	1.13e-08	2385.4
1.e-5	0.5	300	10	692	10000	1.91e-10	23340
1.e-5	0.5	200	10	621	10000	2.28e-07	3300
1.e-6	0.5	200	10	4972	10000	6.60e-06	18180
1.e-6	0.5	100	10	4978	10000	1.39e-04	7320

Для устойчивости алгоритма важным параметром является размер ячейки  $\tau_k$ . До момента времени  $t = 0.3$  он может быть достаточно большим, а после, из-за приближения к области задачи особой точки аналитического продолжения решения УБ в  $\mathbb{C}$ , его необходимо уменьшать. Также немаловажным является параметр  $N$ , который напрямую влия-

ет как на точность решения, так и на скорость работы алгоритма. Понизив  $N$ , можно добиться ускорения алгоритма, жертвуя точностью численного решения.

*Работа выполнена при поддержке Математического Центра в Академгородке, соглашение с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-15-2025-348).*

#### Список литературы

- [1] СЕМИСАЛОВ Б. В. Применение дробно-рациональных интерполяций для решения краевых задач с особенностями // Вестник ЮУрГУ ММП. 2022. Т. 15. № 4. С. 5–19.
- [2] БРЫНДИН Л. С., СЕМИСАЛОВ Б. В., БЕЛЯЕВ В. А. и др. Численный анализ разрушения одномерного течения полимерной жидкости с фронтом // Журн. выч. мат. и мат. физ. 2024. Т. 64. № 1. С. 162–175.

#### 2.8. Бурнин М.А. Моделирование вихревого излучения от кольцевой антенной решетки

В последнее время активно изучается фундаментальное понимание природы волн с орбитальным угловым моментом (ОУМ). Наличие ОУМ у переходного излучения проиллюстрировано исследованиями, проведенными российской научной группой совместно с японскими экспериментаторами [1]. Впервые в мире наблюдалось переходное излучение с ОУМ, порождаемое прямолинейно движущимися релятивистскими электронами при взаимодействии с мишенью.

В недавнем исследовании [2, 3] разработана теория мультиплексирования сигналов с помощью вихревых фотонов, создаваемых круговой антенной решеткой.

Параллельно с теоретическими исследованиями существуют значительные практические разработки в этой области, включая создание цифровых макетов специализированных антенн, таких как представленная в [4] сверхширокополосная коническая антенная решётка на диэлектрических резонаторах, способная эффективно генерировать вихревые волны с различными модами ОАМ ( $\pm 1$ – $\pm 5$ ) в миллиметровом диапазоне.

Цель работы заключается в разработке цифровой модели излучателя с ОУМ на основе кольцевой решётки из шести спиральных антенн, исследование структуры её поля в миллиметровом диапазоне, смоделировать дифракцию на двойной щели.

Решаются системы уравнений в матричной форме основанные на уравнении Гельмгольца и условии Дирихле:

$$(K - k_0^2 M) E = 0$$

где  $K$  — матрица жесткости (магнитные свойства  $\mu_r$ ),  $M$  — матрица масс (диэлектрические свойства  $\epsilon_r$ ),  $E$  — вектор неизвестных циркуляций  $E_j$  в зоне идеальной электропроводимости (РЕС):  $E_j = 0$ .

В результате разработана цифровая модель кольцевой антенной решётки из шести спиральных антенн, генерирующей электромагнитные волны с орбитальным угловым моментом (ОУМ) в миллиметровом диапазоне ( $\lambda = 1$  мм). Методом конечных элементов в COMSOL Multiphysics исследованы диаграммы направленности и структура спирального фазового фронта в зависимости от топологического заряда ( $l = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$ ) и хиральности излучателей ( $s = \pm 1$ ). Показано, что результирующая структура поля определяется комбинированным параметром  $m = s + l$ , остаток от деления на шесть, этого параметра, соответствует определенной диаграмме направленности. Смена хиральности приводит к повороту фазового фронта, демонстрируя связь спинового и орбитального моментов. Моделирование дифракции на двойной щели выявило отклонение интерференционных максимумов, зависящее от знаков  $l$  и  $s$ , что согласуется с экспериментальными данными по переходному излучению. Результаты подтверждают возможность генерации и детектирования ОУМ-пучков от кольцевой антенной решетки.

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Богданов О. В.*

#### Список литературы

- [1] ТАКАБАЯШИ Y., TAKEDA H., MAGOME E. ET AL. Observation of transition radiation carrying orbital angular momentum // Phys. Rev. A. 2025. Vol. 111. Art. L061501.
- [2] KAZINSKI P. O., KOROLEV P. S., LAZARENKO G. YU., RYAKIN V. A. Multiplexing signals with twisted photons by a circular arc phased array // Annals of Physics. 2024. Vol. 462. Art. 169610.
- [3] АКСЁНОВ В. П., БОГДАНОВ О. В., ДУДОРОВ В. В. и др. Передача сигнала, мультиплексированного по орбитальному угловому моменту, с помощью когерентного сложения лазерных пучков // Оптика атмосферы и океана. 2025. Т. 38. № 8. С. 601–609.
- [4] ZHAO L., SUN X., LIU L. ET AL. Ultra-Wide Band OAM Antenna Based on Circular Phased-Array Conical Dielectric Resonator // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 2176–2179.

#### 2.9. Вардосанидзе О.Д. Ускоренное построение моделей и алгоритмов для геометрически нелинейного расчёта упругопластического поведения металлических материалов

Создание макроскопических моделей, пригодных для описания нелинейного деформирования твёрдых тел, и разработка соответствующих вычислительных алгоритмов представляют сложную задачу. В докладе развивается концепция представительных направлений, которая позволяет быстро и эффективно создавать сложные высокоточные модели, автоматически удовлетворяющие принципу термодинамической совместности и объективности [1, 2]. Для повышения точности моделирования

разработан новый вариант концепции, обеспечивающий независимость предсказаний модели от выбора отсчётной конфигурации [3]. В докладе показывается, что новый вариант позволяет более точно описать упругопластическое поведение реальных металлов, а также позволяет избежать возникновения нежелательного эффекта паразитического упрочнения, наблюдаемого в расчётах по классической версии концепции представительных направлений. Разработанные модели и алгоритмы внедрены в коммерческий комплекс MSC.Marc и успешно применены для решения ряда краевых задач. Эффективность нового подхода подтверждена серией вычислительных экспериментов, включая моделирование инкрементального кручения стальных трубок из стали 42CrMo4 и циклического деформирования стальных сварных образцов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 23-19-00514).*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шутков А. В.*

#### Список литературы

- [1] FREUND M., IHLEMANN J. Generalization of one-dimensional material models for the finite element method // ZAMM. 2010. Vol. 90. N. 5. P. 399–417.
- [2] SHUTOV A. V., VARDOSANIDZE O. D. Improved concept of representative directions: cluster approach // International Journal of Solids and Structures. 2024. Vol. 301. Art. 112934.
- [3] SHUTOV A. V., VARDOSANIDZE O. D. Directional modeling concept for large strain metal plasticity // European Journal of Mechanics — A/Solids. 2025. Art. 105897.

#### 2.10. Веткина А.В., Шишаев Г.Ю., Калякин Т.С. Топологическое представление моделей нефтяных месторождений как универсальный геологический инвариант

В данной работе предлагается инструмент устойчивой гомологии (*Persistent Homology*) для вычисления топологических признаков, описывающих геологическую модель нефтяного месторождения. Устойчивая гомология — это метод топологического анализа данных, который изучает качественные характеристики данных, сохраняющиеся на разных пространственных масштабах [1, 2]. Данный метод реализует фильтрацию исходных данных, на основании которой при разных значениях параметра фильтрации, или параметра масштаба фиксирует числа Бетти — последовательность инвариантов топологического пространства: при изменении параметра фильтрации наблюдается изменение в гомологии пространства: могут появляться и сливаться воедино связанные компоненты, могут образовываться и заполняться петли и полости и т. д. Таким образом, проведя фильтрацию, получаем семейство вложенных подпространств со своей гомологией, которое позволяет представить исходное пространство с помощью топологических характеристик в раз-

ных размерностях, меньших исходного. Инструмент устойчивой гомологии не зависит от размерности входных данных и их координат, а в целом описывает форму данных. Таким образом, предлагаемые топологические признаки могут служить универсальными характеристиками для геологических моделей пластов любого размера и структуры, что позволяет эффективно использовать их в задачах машинного обучения.

Эксперименты показали, что топологические представления геологических моделей для пяти типов обстановок осадконакопления (приливно-отливная дельта, волновой шельф, барьерные острова, меандрирующие и разветвлённые реки) обеспечивают высокую точность в задаче классификации (*Accuracy* = 0.98).

Это означает, что предложенную топологическую характеристику можно принять за геологический инвариант и использовать в дальнейшем в качестве регуляризатора в генеративных нейронных сетях с целью контроля обстановки осадконакопления в создаваемых геологических моделях [3].

#### Список литературы

- [1] ZOMORODIAN A., CARLSSON G. Computing persistent homology // *Discrete Comput. Geom.* 2005. Vol. 33. N. 2. P. 249–274.
- [2] EDELSBRUNNER H., LETSCHER D., ZOMORODIAN A. Topological persistence and simplification // *Discrete Comput. Geom.* 2002. Vol. 28. P. 511–533.
- [3] CARLSSON G. Topological approaches to deep learning // *Topological Data Analysis.* 2020. P. 119–146.

#### 2.11. Волосатова В.С., Дворецкая Л.Н., Можаров А.М., Федоров В.В., Кавеев А.К. Численное моделирование работы полупроводниковых светоизлучающих структур на основе планарных слоев GaP(N,As)

Для подбора оптимального состава светоизлучающей структуры и геометрии контактов к ней, обеспечивающих максимальный вывод света, необходимо произвести теоретическую оценку электрических и оптических характеристик структуры. В данной работе проведено численное моделирование работы гетероструктуры p-GaP/i-GaPNAs/i-GaP [1, 2], излучающей на длине волны 690 нм. Исследование процессов растекания тока было проведено с использованием модуля AC/DC программного пакета Comsol Multiphysics, для которого в качестве входных данных была задана зависимость протекающего через структуру тока от напряжения, полученная в рамках полупроводникового расчета.

В рамках численного исследования было выявлено влияние толщины активной области на эффективность излучательной рекомбинации и исследована эффективность растекания носителей заряда. Рассчитаны вольтамперные характеристики диодной структуры в зависимости от толщины активной

области в диапазоне от 100 до 500 нм. Увеличение толщины активной области приводит к росту абсолютной величины темпа рекомбинации, что обеспечивает рост уровня протекающего тока и уменьшение напряжения открытия. Доминирующим механизмом в структуре становится излучательная рекомбинация, начиная с напряжения 1.5 В. Обнаружено, что при малых значениях напряжения смещения (1.5–1.7 В) общий уровень тока тем больше, чем шире слой активной области. Для более сложных значений приложенного напряжения — порядка 2 В — оптимальное значение толщины активного слоя составляет около 200–300 нм.

Для исследования растекания тока геометрия структуры представляла гетерослой, к которым с противоположных сторон были сформированы перекрестные контакты шириной 5 мкм. В центре одного из электродов сформировано квадратное отверстие с размером сторон 1–2 мкм для обеспечения вывода света. Основное протекание тока осуществляется в области пересечения контактов. Оценка величины растекания тока составляет 1.5–2.5 мкм от области геометрического пересечения контактов. Падение уровня тока в центре окна составляет 7% для окна 1 мкм и 20% для окна 2 мкм. Таким образом, для улучшения вывода света возможно изготовление перфорированных токоведущих дорожек с размером окон 1–2 мкм.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 25-72-00195).*

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Дворецкая Л. Н.*

#### Список литературы

- [1] LAZARENKO A. A., NIKITINA E. V., GUDOVSKIKH A. S. ET AL. GaPAsN-based light-emitting diode on silicon // *Optics & Laser Technology.* 2020. Vol. 129. P. 106–308.
- [2] KENT P. R. C., ZUNGER A. Theory of electronic structure evolution in GaAsN and GaPN alloys // *Physical review B.* 2019. Vol. 64. N. 11. P. 115–208.

#### 2.12. Гатиятуллина Д.Д. Влияние промежуточного слоя на деформацию и разрушение дендритной структуры аддитивного Al-Si сплава в зоне термомеханического влияния электронного луча

В настоящее время наблюдается интенсивное развитие аддитивного производства, что в первую очередь связано с потребностью в ключевых отраслях промышленности изделий сложной формы с заданной структурой и составом, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками и минимальными отходами материала [1]. Перспективной технологией 3D-печати для получения высококачественных изделий, обладающих низкодефектной структурой, является электронно-лучевое проволочное аддитивное производство [2]. В процессе аддитивного производства за счет многократно

го термоциклирования и высоких градиентов температур образуется сложная иерархически организованная структура с наличием ванн расплава и прослоек между наносимыми слоями, а также специфической структурой внутри ванн и слоев и на границах между ними [3]. Показано, что в результате послойной печати формируется дендритная структура с отдельными дендритами первичного алюминия в эвтектическом каркасе. На более низком масштабном уровне материал эвтектики является дисперсно-упрочненным композитом. Из-за выраженной неоднородности актуальным становится применение многоуровневого численного моделирования, которое позволяло бы достоверно описывать поведение аддитивных композитов на различных масштабных уровнях [4]. Для моделирования деформации и разрушения дендритной структуры внутри аддитивного сплава AlSi12 предложен двухуровневый подход «снизу-вверх». При котором упругопластические свойства и характеристики разрушения материала эвтектики определялись путем проведения термомеханических расчетов со структурой композита «алюминиевая матрица — частицы кремния» и гомогенизации полученных результатов. В данной работе проведено численное исследование влияния промежуточного слоя, формирующегося в зоне термического влияния электронного луча между слоями, на прочность дендритной структуры аддитивного сплава Al-Si, полученного методом электронно-лучевого аддитивного плавления проволоки. На основе экспериментальных данных созданы конечно-элементные модели дендритных структур и структуры композиционного материала эвтектики. Для описания термомеханической реакции кремния и алюминия использованы изотропные упруго- и упругопластические модели с разрушением, соответственно. Динамические краевые задачи о деформировании структур решаются с помощью программного пакета ABAQUS/Explicit методом конечных элементов. Показано, что остаточные напряжения слабо влияют на прочностные свойства и характер разрушения дендритных структур. Наличие прослойки приводит к раннему разрушению.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 23-11-00222, URL: <https://rscf.ru/project/23-11-00222/>).*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Балочнов Р.Р.*

#### Список литературы

- [1] ZHAO N., PARTHASARATHY M., PATIL S. ET AL. Direct additive manufacturing of metal parts for automotive applications // Journal of Manufacturing Systems. 2023. Vol. 68. P. 368–375.
- [2] XU M., CHEN Y., ZHANG T. ET AL. Wire-based electron beam additive manufacturing of NiTiNb shape memory alloy: Microstructure, phase-transformation

behavior and mechanical properties // Materials Science and Engineering: A. 2024. Vol. 901. Art. 146509.

- [3] ZEMLYANOV A. V., GATIYATULLINA D. D., UTYAGANOVA V. R. ET AL. A study of deformation and fracture of the eutectic in an additively manufactured Al-Si composite alloy // Physical Mesomechanics. 2023. Vol. 26. No 6. P. 678–690.
- [4] BALOKHONOV R., ZEMLIANOV A., UTYAGANOVA V. ET AL. Two-Scale Computational Analysis of Deformation and Fracture in an Al-Si Composite Material Fabricated by Electron Beam Wire-Feed Additive Manufacturing // Metals. 2023. V. 13. Art. 1465.

#### 2.13. Горбунова К.Д. Влияние выбора сетки на результаты 2D-моделирования гидродинамического истечения атмосфер экзопланет

Интерес к эволюции атмосфер экзопланет возник сравнительно недавно благодаря росту числа их открытий. На эволюцию существенным образом влияет массовый расход атмосферного газа, который зависит от интенсивности УФ-излучения, исходящего от родительской звезды, расстояния до нее, размеров планеты и состава ее атмосферы. В докладе рассмотрена двумерная задача нестационарного истечения верхней атмосферы планеты в результате нагрева жестким УФ-излучением. В такой постановке учитываются меридиональные потоки, из-за которых появляется меридиональная компонента скорости, увеличивающаяся с увеличением угла отклонения от подзвездной линии (линии, направленной на звезду), а значит часть атмосферной массы будет уноситься на ночную сторону планеты.

Система гидродинамических уравнений состоит из нестационарных уравнений Эйлера и уравнения производства энтропии в сферических координатах  $(r, \theta)$ , где  $r$  — радиальное расстояние, отсчитываемое от поверхности планеты,  $\theta$  — зенитный угол, отсчитываемый от подзвездной линии. В радиальном направлении при расчетах использовалась компактная схема Мак-Кормака, преимущества которой неоднократно были показаны, например, в статье [1], основное из которых — быстрый расчет при условии Куранта — Фридрихса — Леви с максимальным значением 1.0. В качестве начальных условий использовались одномерные профили параметров, полученные ранее в одномерной модели [2], что также позволило сократить время расчетов.

В нашей модели используется допущение, что у экзопланеты в атмосфере преобладает водород. В качестве объекта моделирования с такой атмосферой была выбрана экзопланета TOI-421b [3] (состав ее атмосферы был определен телескопом Джеймс Уэбб [4]). Численные расчеты двумерной гидродинамической модели истечения для этой экзопланеты представлены на нескольких расчетных сетках, где  $M$  — количество точек в радиальном направлении,  $K$  — количество точек в зенитном направлении,

нии:

- $M = 2000, \{K = 50, K = 100\}$ ;
- $M = 3000, \{K = 50, K = 100\}$ ;
- $M = 4000, \{K = 50, K = 100\}$ .

Были получены оценки массовой потери атмосферы в радиальном направлении с дневной стороны и оценки уноса массы на ночную сторону экзопланеты. Сравнение с одномерными моделями показывает, что они переоценивают интегральный расход газа. Двумерная модель позволяет получить более реалистичную оценку расхода, сравнимую с оценками, получаемыми в трехмерных моделях другими группами исследователей. Проверка сходимости на сетках различной разрешенности показала, что погрешность в определении массового расхода на дневной стороне составляет лишь 2% при переходе от грубой ( $M = 2000, K = 50$ ) к мелкой сетке ( $M = 4000, K = 100$ ).

*Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2025-1606).*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Еркаев Н. В.*

#### Список литературы

- [1] ЕРКАЕВ Н. В., ГОРБУНОВА К. Д. Компактная разностная схема для гидродинамической модели истечения атмосфер планет // Вычислительные технологии. 2024. Т. 29. № 1. С. 5–17.
- [2] ERKAEV N. V., GORBUNOVA K. D. Magnetic Barrier in Front of Exoplanets Interacting with Stellar Wind // Problems of Geocosmos–2022. Proc. Intern. Conf. «Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences». Location: St. Petersburg, Russia. Publisher: Springer, 2023. Vol. ICS 2022. P. 251–265.
- [3] KRENN A. F., KUBYSHKINA D., FOSSATI L. ET. AL. Characterisation of the TOI-421 planetary system using CHEOPS, TESS, and archival radial velocity data // Astronomy & Astrophysics. 2024. Vol. 686. N. A301. P. 20.
- [4] DAVENPORT B., КЕМПТОН E. M.-R., NIXON M. C. ET. AL. TOI-421 b: A Hot Sub-Neptune with a Haze-free, Low Mean Molecular Weight Atmosphere // The Astrophysical Journal Letters. 2025. Vol. 984. N. L44. P. 12.

#### 2.14. Губер Ю.В., Сибин А.Н. Математическое моделирование тепломассопереноса в тающем снеге при объемном прогреве потоком солнечного излучения

Вследствие таяния сезонного снежного покрова формируется часть стока северных рек, а условия снеготаяния оказывают решающее влияние на качество и количество поступающих в водоемы-приемники талых вод. Поэтому моделирование состояния снежного покрова в период снеготаяния имеет важное значение при разработке методов расчетов и прогнозов гидрографов весеннего половодья, при решении задач о распространении загряз-

нений в тающем снеге, вкладе снежного покрова в формировании стока на речном водосборе и т. д.

В докладе на основе уравнений неизотермической двухфазной фильтрации рассматривается задача формирования теплового режима в тающем снеге при объемном прогреве потоком солнечного излучения [1, 2]. Разработан алгоритм численного решения автомодельной и одномерной задач.

При моделировании снеготаяния на границе был учтен поток солнечного излучения, так как он позволяет более точно прогнозировать тепловой режим снежно-ледового покрова и термодинамические процессы в нем. Коэффициент теплопроводности снега и зависимость для интенсивности фазового перехода верифицированы в работе [3] с помощью экспериментальных данных из литературных источников.

Приведены результаты численного исследования автомодельного решения математической модели фильтрации воды и воздуха в тающем снеге с учетом потока солнечного излучения, а также результаты моделирования одномерной задачи. Проведены численные эксперименты для определения изменения водонасыщенности, пористости и температуры по глубине.

*Работа поддержана в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ по теме «Современные модели гидродинамики для задач природопользования, промышленных систем и полярной механики» (номер темы: FZMW-2024-0003).*

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

#### Список литературы

- [1] КУЧМЕНТ Л. С. Формирование речного стока. Физико-математические модели / Москва.: Наука, 1983. 216 с.
- [2] DAANEN R. P., NIEBER J. L. Model for coupled liquid water flow and heat transport with phase change in a snowpack // Journal of Cold Regions Engineering. 2009. Vol. 23. N. 2. P. 43–68.
- [3] СИБИН А. А., ПАПИН А. А. Тепломассоперенос в тающем снеге // ПМТФ. 2021. Т. 62. № 1. С. 109–118.

#### 2.15. Еремчук М.П. Анализ экранированного уравнения Пуассона при краевых условиях Дирихле и Неймана в трёхмерной области

В работе рассматривается метод итерационных расширений, являющийся обобщением метода фиктивных компонент [1]. Его суть заключается во введении дополнительного параметра в определение расширенной матрицы и в подборе оптимального итерационного параметра с использованием метода минимальных невязок. Данный подход применяется для решения экранированного уравнения Пуассона в трехмерной области со сложной геометрией при граничных условиях Дирихле и Неймана. Наличие сложной геометрии области и краевого условия

Дирихле являются проблемой при решении эллиптических уравнений [2]. Методология фиктивных компонент была проанализирована и усовершенствована для достижения оптимальной асимптотики в эллиптических задачах второго порядка с краевым условием Неймана [3].

Пусть  $\Omega \subset \mathbb{R}^3$  – область с границами

$$\partial\Omega = \bar{s}, \quad s = \gamma_1 \cup \gamma_2, \quad \gamma_1 \cap \gamma_2 = \emptyset.$$

В этой области рассматривается смешанная краевая задача для экранированного уравнения Пуассона

$$u: -\Delta \check{u} + \kappa \check{u} = \check{f}|_{\Omega}, \quad \check{u}|_{\gamma_1} = 0, \quad \frac{\partial \check{u}}{\partial n}|_{\gamma_2} = 0$$

Данная краевая задача продолжается через границу с условием Дирихле или Неймана и вводится фиктивная однородная задача, дополняющая область со сложной геометрией до трехмерного примитива, например, параллелепипеда. Полученная продолженная задача аппроксимируется и приводится к системе линейных алгебраических уравнений:

$$\bar{u} \in \mathbb{R}^N : C\bar{u} = \bar{f}, \quad \bar{f} \in \mathbb{R}^N.$$

Приближённое решение системы уравнений находится с помощью метода итерационных расширений:

$$\begin{aligned} \bar{u}^k \in \mathbb{R}^N : B(\bar{u}^k - \bar{u}^{k-1}) &= -\tau_{k-1}(C\bar{u}^{k-1} - \bar{f}), \quad k \in \mathbb{N}, \\ \forall \bar{u}^0 \in \bar{V}_1, \quad \beta > \alpha, \quad \tau_0 &= 1, \\ \tau_{k-1} &= [\bar{r}^{k-1}, \bar{\eta}^{k-1}] / [\bar{\eta}^{k-1}, \bar{\eta}^{k-1}], \quad k \in \mathbb{N} \setminus \{1\}, \end{aligned}$$

где в итерационном процессе пошагово необходимо пересчитывать невязки, поправки и эквивалентные невязки

$$\bar{r}^{k-1} = C\bar{u}^{k-1} - \bar{f}, \quad \bar{w}^{k-1} = B^{-1}\bar{r}^{k-1}, \quad \bar{\eta}^{k-1} = C\bar{w}^{k-1}.$$

Приведённый метод для анализа экранированного уравнения Пуассона с краевыми условиями Дирихле и Неймана в областях со сложной геометрией является асимптотически оптимальным по вычислительным затратам в количестве арифметических операций. Алгоритм метода предусматривает автоматическое управление вычислительным процессом: выполняется подбор оптимальных итерационных параметров и остановка процесса при достижении заранее установленной оценки погрешности. Развиваемый метод итерационных расширений отличается простотой, универсальностью и эффективностью реализации по сравнению с методом фиктивного пространства [4].

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Ушаков А. Л.*

#### Список литературы

[1] АСТРАХАНЦЕВ Г. П. Метод фиктивных областей для эллиптического уравнения второго порядка с естественными граничными условиями // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1978. Т. 18. № 1. С. 118–125.

[2] USHAKOV A. L. Investigation of a mixed boundary value problem for Poisson equation // 2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi, 2017. Vol. 10. N. 1. P. 26–46.  
 [3] КАПОРИН И. Е., НИКОЛАЕВ Е. С. Метод фиктивных неизвестных для решения разностных уравнений эллиптического типа в областях сложной формы // ДАН СССР. 1980. Т. 251. № 3. С. 544–548.  
 [4] МАЦОКИН А. М., НЕПОМНЯЩИХ С. В. Метод фиктивного пространства и явные операторы продолжения // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1993. Т. 33. № 1. С. 52–68.

#### 2.16. Ефремов М.А., Гарбузов Д.Н. Математическое моделирование течения степенной жидкости в смесителях различных конфигураций

Процессы смешения жидких сред играют ключевую роль в широком спектре промышленных отраслей, включая химическую, пищевую, фармацевтическую, полимерную и другие индустрии. Эффективное смешение имеет решающее значение для обеспечения качества продукции, оптимизации технологических процессов и интенсификации тепло- и массопереноса [1].

В рамках работы выполнено численное исследование влияния конфигурации мешалки, вращающейся с постоянной угловой скоростью, на структуру потока и качество перемешивания реологически сложной жидкости в смесительном аппарате. Математическую постановку задачи составляют уравнения движения и неразрывности, которые замыкаются степенным реологическим уравнением. Задача рассматривается в рамках плоского приближения, в соответствующих диапазонах чисел Рейнольдса. Используются граничные условия прилипания на твердых стенках смесительного аппарата. Рассмотрены три конфигурации мешалок: лопастные, якорные, якорные с поворотом.

Задача решалась методом контрольного объема, на неструктурированной, совмещенной, треугольной сетке, которая точно описывает сложную геометрию мешалки. Уравнение неразрывности удовлетворяется с помощью корректирующей процедуры SIMPLE [2]. Для устранения сингулярности реологического закона в областях слабоинтенсивного движения используется регуляризация.

Параметрические исследования проведены для дилатантной и псевдопластичной жидкостей. Продемонстрирована структура потока, характеризующаяся формированием циркуляционных зон в окрестности лопастей и области сдвигового течения вдоль твердой стенки аппарата. Дополнительно решена задача о перераспределении ансамбля маркерных частиц с течением времени, которая позволяет провести качественную оценку процесса смешения. Количественная оценка проведена посредством характеристики неоднородности

распределения маркеров. На ее основе сравнивалось качество перемешивания для трех конфигураций мешалок, и даны рекомендации по улучшению конструкций мешалок.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 24-29-00594).*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Борзенко Е. О.*

#### Список литературы

- [1] БАРАБАШ В. М., АБИЕВ Р. Ш., КУЛОВ Н. Н. Обзор работ по теории и практике перемешивания // Теоретические основы химической технологии. 2018. Т. 52. № 4. С. 367–383.
- [2] БУБЕНЧИКОВ А. М., ФИРСОВ Д. К., КОТОВЩИКОВА М. А. Численное решение плоских задач динамики вязкой жидкости методом контрольных объемов на треугольных сетках // Математическое моделирование. 2007. Т. 19. № 6. С. 71–85.

#### 2.17. Землянов А.В., Гатиятуллина Д.Д. Комбинированный численно-экспериментальный подход к оценке пластических и прочностных свойств ЭЛАП-сплава AlSi12

Благодаря интенсивному развитию аддитивного производства стало возможным получать высокопрочные изделия сложной геометрии из алюминиевых сплавов системы Al-Si, которые считаются труднообрабатываемыми из-за наличия твердой фазы кремния и традиционно изготавливают литьем. Перспективной, но менее изученной аддитивной технологией является электронно-лучевая проволоочная печать (ЭЛАП), которая обладает преимуществами по сравнению с другими технологиями, например, широко распространенным селективным лазерным плавлением [1]. В частности, ЭЛАП почти на 99% эффективна по потреблению сырья, а также позволяет получать структуру изделия с минимальным количеством дефектов. В процессе аддитивного производства образуется сложная структура с наличием ванн расплава и прослоек между наносимыми слоями, а также специфической структурой внутри ванн и слоев и на границах между ними. Актуальность приобретает разработка многоуровневых моделей с явным учетом структуры, которые достоверно описывают деформацию и разрушение аддитивных материалов на различных масштабных уровнях [2]. Из-за масштабного фактора и субмикроструктурной дефектной структуры алюминия на уровне эвтектики локальные свойства сплава могут сильно отличаться от макроскопических свойств. В настоящей работе предложен комбинированный численно-экспериментальный подход к оценке пластических и прочностных свойств алюминиево-кремниевого сплава AlSi12, изготовленного с помощью проволоочного электронно-лучевого аддитивного производства [3].

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-11-00222, <https://rscf.ru/project/23-11-00222/>.*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Балочнов Р. Р.*

#### Список литературы

- [1] UTYAGANOVA V., FILIPPOV A., SHAMARIN N. ET AL. Controlling the porosity using exponential decay heat input regimes during electron beam wire-feed additive manufacturing of Al-Mg alloy // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2020. Vol. 108. P. 2823–2838.
- [2] ПИСАРЕВ М., ЕМЕЛЬЯНОВА Е. С., РОМАНОВА В. А. и др. Структурно-механические модели материалов, изготовленных селективным лазерным плавлением, на примере стали 316L (обзор) // Физическая мезомеханика. 2025. Т. 28. № 3 (60). С. 5–21.
- [3] UTYAGANOVA V., FILIPPOV A., SHAMARIN N. ET AL. A top-down multiscale analysis for deriving local material properties of additively manufactured Al-Si alloy // Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering. 2025. DOI. 10.22190/FUME241230020B.

#### 2.18. Ильязев В.М., Лапин В.Н. Анализ параметров шероховатости поверхности, влияющих на гидравлическое сопротивление трещин

Объектом исследования является течение несжимаемой жидкости в плоских каналах с шероховатыми стенками и влияние такой шероховатости на гидравлическое сопротивление. Цель работы – изучение инвариантности параметров шероховатости относительно деления поверхности на равные сегменты и оценка точности эмпирических моделей для расчета гидравлической ширины, использующих данные параметры.

Исследование проводилось путем анализа данных 7680 синтетических двумерных трещин. Производилась сегментация различной степени профилей берегов трещин для расчета параметров отклонения от средней линии ( $R_a, R_q$ ), извилистости ( $\delta$ ) и крутизны ( $Z_2$ ) профилей, а также средней ширины ( $a_m$ ) и среднеквадратического отклонения ширины ( $\sigma_a$ ) канала. Выполнено сравнение пяти эмпирических моделей гидравлической ширины с эталонными данными численного моделирования и анализ их погрешностей.

Установлено, что параметры  $R_a$  и  $R_q$  сильно зависят от анализируемого участка, в то время как  $\delta, Z_2$ , а также параметры ширины канала  $a_m, \sigma_a$  демонстрируют значительно лучшую инвариантность. Модели гидравлической ширины показывают приемлемую точность для большинства трещин, однако их погрешность возрастает для каналов с выраженными локальными сужениями.

Результаты работы могут быть применены при моделировании течения жидкости в трещиноватых средах. Рекомендуется использование

инвариантных относительно длины анализируемого участка трещины параметров для построения более надежных моделей, учитывающих локальные особенности геометрии трещин.

### 2.19. Капитонов А.А. Математическое моделирование транспорта жидкости для электрокинетического насоса

Электрокинетический насос (ЭКН) представляет собой устройство для перекачивания жидкости посредством приложения внешнего электрического поля. Такое устройство, в частности, может быть полезно в космической отрасли при создании малогабаритных спутников.

В простом исполнении ЭКН состоит из пористого тела (мембраны) с электродами по краям. Транспорт жидкости в ЭКН обусловлен наличием двойного электрического слоя (ДЭС), вызывающего потенциал жидкости внутри мембраны. Толщина ДЭС определяется длиной Дебая. При этом подразумевается диссоциация жидкости (электролита) на ионы.

Традиционно для описания такого транспорта используется уравнение Гельмгольца — Смолуховского для электроосмоса [1] при условии плоских каналов бесконечной длины. Это уравнение может быть модифицировано при рассмотрении цилиндрических каналов (при радиальной симметрии) [2]. Электролит при этом полагается бинарным с одинаковыми валентностями, а концентрация ионов вдоль поры — неизменной.

Для замкнутого контура, в котором выход из ЭКН соединён трубкой со входом в него, полагая соответствующий уравнению Пуазёйля профиль скорости в трубке, можно записать уравнения для скорости жидкости и перепада давления. Обе эти величины будут линейно зависеть от напряжённости. Используя эти уравнения, был успешно описан эксперимент из работы [3].

В случае бесконечно малого сопротивления внешнего контура скорость жидкости  $u$  является наибольшей, а уравнение для неё имеет вид

$$u = \epsilon_{mt} \frac{\epsilon \epsilon_0}{\mu} \zeta \cdot \left( 1 - \frac{2I_1(\kappa R)}{\kappa R I_0(\kappa R)} \right) \cdot (-\mathbf{E}),$$

где  $\epsilon_{mt}$  — коэффициент уменьшения мембранного переноса (отношение пористости мембраны к извилистости её пор),  $\epsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость жидкости,  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная,  $\mu$  — динамическая вязкость жидкости,  $\zeta$  — дзета-потенциал,  $I_0$  и  $I_1$  — модифицированные функции Бесселя первого рода (нулевого и первого порядка),  $\kappa$  — обратная длина Дебая,  $R$  — радиус поры,  $\mathbf{E}$  — напряжённость внешнего электрического поля.

В случае бесконечно большого сопротивления внешнего контура движения жидкости нет, а перепад давления  $\Delta P$  принимает наибольшее значение

и описывается уравнением

$$\Delta P = \frac{8\epsilon\epsilon_0 L_m}{R^2} \zeta \cdot \left( 1 - \frac{2I_1(\kappa R)}{\kappa R I_0(\kappa R)} \right) \cdot (-\mathbf{E}),$$

где  $L_m$  — толщина мембраны.

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

#### Список литературы

- [1] БРУСНИЦЫНА Л. А. Электрокинетические явления. [Электронный ресурс]. URL: <https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13882/1/ЭОР%20Брусницына-%20Электрокинетические%20%20явления.pdf> (дата обращения 03.09.2025).
- [2] RICE S. L., WHITENHEAD R. Electrokinetic flow in a narrow cylindrical capillary // The journal of physical chemistry. 1965. Vol. 69. N. 11. P. 4017–4024.
- [3] МЯСОЕДОВ Е. В. Разработка конструкции и экспериментальное исследование электрокинетического насоса, работающего на ацетонитриле: дипломная работа. СФУ ИИФиР, Красноярск, 2009. 34 с.

### 2.20. Кащеева А.Е. Об обратной внутренней краевой задаче для уравнений критического состояния ортотропных неоднородных соединений

Исследуется система уравнений пластического равновесия:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0,$$

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 / \mu^2 + 4\tau_{xy}^2 = 4U^2(x).$$

Здесь  $x$  и  $y$  — безразмерные координаты точек,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  — безразмерные напряжения. Эта система определена на полосе со вставкой (прослойкой). Параметр пластичности  $U(x)$  является переменным поперек полосы и разрывным на границе вставки и основного материала со скачком  $K$ . Основной материал и материал вставки анизотропны ( $\mu$  — параметр анизотропии). Эта квазилинейная система гиперболического типа возникает при изучении критических состояний неоднородной полосы (например, сварного соединения) с промежуточной прослойкой под растягивающей или сжимающей нагрузкой при плоской деформации. В докладе вычислены приближенно инварианты Римана по характеристикам. С их помощью приближенно решена обратная внутренняя краевая задача для напряжений на контактной границе, что необходимо для вычисления критической нагрузки, в частности:

$$\sigma_y(x) \approx [(K\mu^+ + \mu^-) - 0,5\mu^-(K\mu^+ + \mu^-)^2]u^-(x) - p.$$

Здесь  $p$  — давление на свободную границу. Верхний индекс «плюс» или «минус» указывает на основной материал или, соответственно, вставку.

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Дильман В. Л.*

### 2.21. *Кислин А.В.* Решение задачи Стефана в трёхмерной постановке с помощью метода разрывного Галёркина

Решение задачи Стефана, или, другими словами, задачи о фазовом переходе, может применяться в достаточно широком кругу конкретных прикладных задач, начиная от моделирования состояния используемых при строительстве зданий материалов в зависимости от температурных условий, заканчивая решением экологических вопросов, связанных с вечной мерзлотой в северных районах. Однако аналитическое решение задачи Стефана было найдено преимущественно только для некоторых частных одномерных постановок [1]. В общем же случае для моделирования процессов с фазовым переходом обычно используют численные схемы, в том числе и метод конечных элементов. Но даже с их помощью в трёхмерной постановке задачу Стефана почти не решают, что отчасти связано с высокими вычислительными затратами ввиду особенностей самой модели фазового перехода.

В рассматриваемой работе для решения задачи Стефана в трёхмерной постановке и уменьшения вычислительных затрат был выбран метод разрывного Галёркина в форме внутреннего штрафа [2]. При решении задачи о фазовом переходе каким-либо из методов конечных элементов необходимо понимать, что расчётная сетка вблизи границы раздела двух фаз должна иметь достаточно мелкое разбиение. В случае использования конформных конечно-элементных методов это приводит к дополнительному разбиению всей расчётной области. С использованием же метода разрывного Галёркина появляется возможность локального дробления конечно-элементной сетки в пределах некоторой подобласти. Иначе говоря, метод разрывного Галёркина позволяет производить расчёты на неконформной конечно-элементной сетке, за счёт чего можно серьёзно уменьшить количество, собственно, конечных элементов и соответственно количество расчётов.

Для моделирования движения фазовой границы была выбрана двухслойная численная схема. А для построения конечно-элементной сетки был использован готовый программный пакет GMSH. Стоит отметить, что для GMSH также была разработана надстройка, позволяющая работать с неконформными конечно-элементными разбиениями, поскольку данное программное обеспечение изначально предназначено только для построения конформных разбиений.

Разработанное программное обеспечение для решения задачи о фазовом переходе было верифицировано на классе модельных задач. В результате количество конечных элементов действительно удалось сократить. Однако неконформность разбиения расчётной сетки негативно сказалась на скорости

сходимости решения получившейся системы линейных алгебраических уравнений. Но подобный недостаток можно нивелировать за счёт изменения параметра внутреннего штрафа, что также было подтверждено на модельной задаче.

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

#### Список литературы

- [1] МЕЙРМАНОВ А. М. Задача Стефана / Новосибирск: Наука, 1986. 240 с.
- [2] ARNOLD D. N., BREZZI F., COCKBURN B., MARINI L. D. Unified Analysis of Discontinuous Galerkin Methods for Elliptic Problems // SIAM Journal on Numerical Analysis. 2002. Vol. 39. N. 5. P. 1749–1779.

### 2.22. *Кладов А.В.* Численный алгоритм расчета связных селевых потоков на горных склонах

Представлены численный алгоритм расчета движения связного селя по оцифрованному горному склону и результаты вычислительных экспериментов для модельных задач, в том числе задачи формирования конуса выноса [1]. Актуальность этого направления исследований связана с тем, что разрушительные сели происходят ежегодно во многих регионах мира. В разработанной модели рассматриваются связные сели [2], которые характеризуются тем, что в них свободной воды практически нет, а твердые обломки связаны тонкодисперсными глинистыми частицами, поэтому селевая грязекаменная масса приобретает свойства единого пластического тела высокой плотности, скользящего по горному склону.

Приводятся уравнения движения связного селя и для построения трехмерных модельных склонов, заданных дискретным набором точек. Для подсчета сил, действующих на селевую массу, выполнялось разбиение ее объема на бесконечное число малых блоков и в качестве силы, приводящей селя в движение по склону, бралась интегральная сумма сил тяжести и трения, действующих на такие элементарные объемы. Описывается численный алгоритм расчета движения связного селя, основанный на решении системы нелинейных обыкновенных интегродифференциальных уравнений [3]. Представлены результаты расчетов формирования конуса выноса, образованного сходом связного селя. Показано, что на форму конуса выноса существенно влияют коэффициент трения и рельеф водотока в его основании.

Разработанные вычислительные алгоритмы реализованы в виде комплекса программ для расчета скорости и закона движения связного селя по аналитически заданному криволинейному водотоку, по оцифрованному водотоку и программы расчета формирования конуса выноса. Выполненная работа является очередным шагом в направлении численного моделирования движения селей.

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

#### Список литературы

- [1] Кладов А. В. Численное моделирование связанных селевых потоков на горных склонах // Выпускная квалификационная работа магистра. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2025. 39 с.
- [2] ПЕРОВ В. Ф. Селеведение / М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2012. 272 с.
- [3] KNAKIMZYANOV G., DUTYKH D., FEDOTOVA Z., GUSEV O. Dispersive Shallow Water Waves: Theory, Modeling, and Numerical Methods / Basel: Birkhauser, 2020. 284 p.

#### 2.23. Ключанцев В.С., Шутлов А.В. Генерация синтетической базы данных по разрушению сварных стальных образцов для отработки методик калибровки моделей

В работе рассматривается задача генерации синтетической базы данных по разрушению сварных стальных образцов для отработки и сравнения методик калибровки конститутивных моделей с нелокальным накоплением повреждений. Синтетическая БД формируется на основе вычислительных экспериментов, в которых сочетаются сеточные методы (МКЭ) и бессеточные (МСЧ) [1]. При умеренных конечных деформациях предпочтителен МКЭ, но при больших деформациях точность и устойчивость повышает МСЧ. Гибридизация позволяет надежно описывать шейкообразование, отделение частей конструкции и зарождение трещин при разрушении сварных соединений.

Предложена вычислительная схема, в которой объём расчётной области динамически перераспределяется между конечными элементами и частицами МСЧ. Для снижения стоимости вычислений применяется смешанный алгоритм ассемблирования внутренних сил, вклад в силу дают только активные элементы дискретизации. На этой основе выполняется *массовое* моделирование серий плоских образцов с лазерной сваркой: без надрезов и с надрезами, при разных углах наклона шва к оси растяжения и при двух уровнях температуры.

Модели повреждаемости реализованы в *нелокальном интегральном* формате [2,3], что устраняет патологическую зависимость результатов от шага дискретизации и обеспечивает корректную ширину зоны локализации. Делокализация уравнений эволюции выполняется через интегральное сглаживание по ядру с внутренней длиной, применимому в металле шва и основном металле.

Для калибровки предлагается многоступенчатый протокол: на первом шаге восстанавливаются упругие модули по начальному наклону, далее параметры текучести и упрочнения по докритическим участкам и, наконец, параметры повреждаемости и нелокальная длина — по пикам нагрузки и нисхо-

дящим ветвям [4]. Синтетические серии варьируют угол шва и глубину/радиус надреза, что делает процедуру идентификации наблюдаемой и сдерживает перепараметризацию.

Представлен пример лучшего варианта калибровки и атлас трещинообразования, который критичен для отбраковки ложных сценариев разрушения. Полученная синтетическая БД совместима с последующей валидацией на реальных испытаниях, а гибридная МКЭ/МСЧ-постановка может использоваться как генератор для быстрой оценки чувствительности моделей к ориентации шва и различным концентраторам напряжений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 23-19-00514).*

#### Список литературы

- [1] MONAGHAN J. J. Smoothed particle hydrodynamics // In: Annual review of astronomy and astrophysics. 1992. Vol. 30. P. 543–574.
- [2] BAŽANT Z. P., JIRÁSEK M. Nonlocal integral formulations of plasticity and damage: survey of progress // Journal of Engineering Mechanics. 2002. Vol. 128. P. 1119–1149.
- [3] SHUTOV A. V., KLYUCHANTSEV V. S. Large strain integral-based nonlocal simulation of ductile damage with application to mode-I fracture // International Journal of Plasticity. 2021. Vol. 144. Art. 103061.
- [4] LARICHKIN A. Y., KLYUCHANTSEV V. S., KARPOV E. V. ET AL. Fracture of welded steel samples at normal and low temperatures: Experimental dataset and nonlocal modeling // Materials Science and Engineering. 2025. Art. 148447.

#### 2.24. Кузьмин В.В. Численные методы решения вариационных задач с учётом смешанных граничных условий Неймана в нелинейной теории упругости

Современная механика материалов и конструкций сталкивается с увеличением сложности и разнообразия вариационных задач, особенно в рамках нелинейной теории упругости. Исследование таких задач является крайне важным для различных областей, включая инженерию, геотехнику и биомеханику. Численные методы играют ключевую роль в решении данных задач, позволяя получить приближенные решения для сложных геометрий.

Были проведены исследования методов численного анализа, применяемых для решения сложных вариационных задач, возникающих в контексте нелинейной теории упругости, а именно рассматривалась вариационная задача на минимум функционала запасенной энергии в рамках нелинейной теории упругости с учетом допустимых деформаций [1, 2].

В частности, были реализованы в программном коде и протестированы алгоритмы минимизации функционала запасенной энергии с учетом моделирования допустимых деформаций смешанных граничных условий типа Дирихле и типа Неймана

в классе липшицевых отображений с целью возможности задания на границах потока напряжения. В данном случае для моделей нелинейной теории упругости граничные условия Неймана определяются согласно формуле:

$$\Phi(\varphi) = \int_{\Omega} W(x, \varphi(x), D\varphi(x)) dx + \int_{\Omega} \langle g(x), \varphi(x) \rangle dx,$$

где  $\Phi(\varphi)$  — функционал запасённой энергии,  $W$  — непрерывная положительная функция, задающая модель гиперупругого материала,  $\varphi(x)$  — отображение и  $g(x)$  — вектор потока напряжения на границе.

Также были рассмотрены вопросы обоснования решения данных задач представленными алгоритмами. А именно доказано, что построенные объекты с использованием триангуляции Делоне полигональной области в классе кусочно-линейных невырожденных отображений образуют минимизирующую последовательность для функционала запасённой энергии [3].

*Работа выполнена при поддержке Математического центра в Академгородке, соглашение с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2025-349 от 29.04.2025.*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Клячин В. А.*

#### Список литературы

- [1] Клячин В. А., Кузьмин В. В., Хижнякова Е. В. Метод триангуляции для приближенного решения вариационных задач нелинейной теории упругости // Известия Иркутского государственного университета. Серия Математика. 2023. Т. 45. С. 54–76.
- [2] Кузьмин В. В. Расчет 3D формы гиперупругого тела для моделей нелинейной теории упругости методом Ньютона // Математическая физика и компьютерное моделирование. 2024. Т. 27. № 2. С. 80–91.
- [3] Клячин В. А., Кузьмин В. В. О существовании приближенных решений вариационных задач в нелинейной теории упругости // Известия Иркутского государственного университета. Серия Математика. 2025. Т. 53. С. 51–68.

#### 2.25. Макаров Е.Е. Моделирование двухслойных течений с учётом массопереноса в наклонном канале: анализ точных решений

Конвективные течения с испарением на протяжении многих лет являются объектом различных исследований. Такие течения играют очень важную роль в природных и промышленных системах [1]. Интерес к изучению процессов тепло-массопереноса через границу раздела вызван активным развитием новейших технологий в химической промышленности, систем жидкостного охлаждения, термостабилизации электронных устройств и других прикладных задачах. Анализ факторов, влияющих на структуру течений, необходим для дальнейшего улучшения существующих технологий, прове-

дения новых экспериментов на основе полученных теоретических данных.

Рассмотрена задача о конвекции в двухслойной системе «жидкость — газ», заполняющей наклонный канал с твёрдыми непроницаемыми стенками с учётом тепло- и массопереноса на недеформируемой границе раздела. Вектор силы тяжести направлен под углом  $\varphi$  по отношению к подложке. В верхнем слое, содержащем газ, приняты во внимание взаимобратные эффекты термодиффузии и диффузионной теплопроводности. Пар полагается пассивной примесью. Для моделирования течений жидкости и спутного потока газа используется система уравнений Обербека — Буссинеска. Задача решена в условиях нулевого потока пара на верхней стенке канала. Расходы сред полагаются заданными величинами. Функции, определяющие характеристики течения, содержат в себе неизвестные константы, возникшие при интегрировании дифференциальных уравнений, описывающих течения жидкости и парогазовой смеси. Система линейных уравнений для поиска неизвестных констант интегрирования, являющаяся следствием условий на твёрдых стенках и границе раздела фаз, незамкнутая. Исследовано влияние положения различных пар констант интегрирования нулю для построения точных решений типа Остроумова — Бириха, с учётом граничных условий. Представлены примеры профилей скорости, распределения температуры и концентрации пара для системы «этанол — азот». Обнаружены количественные и качественные изменения в характеристиках течения при равенстве нулю различных пар констант интегрирования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта «Современные модели гидродинамики для задач природопользования, промышленных систем и полярной механики» (2024-26) (гос. задание FZMW-2024-0003).*

#### Список литературы

- [1] БЕКЕЖАНОВА В. Б., ГОНЧАРОВА О. Н. Задачи испарительной конвекции (обзор) // Прикладная математика и механика. 2018. Т. 82. № 2. С. 219–260.

#### 2.26. Максимова А.А., Рыжков И.И. Анализ моделей концентрационной поляризации в установке тангенциальной фильтрации с радиальным течением раствора

В данной работе были разработаны осесимметричные двумерная и трехмерная модели для исследования концентрационной поляризации в ячейке для радиальной фильтрации с поперечным потоком. Ячейка предназначена для проведения ультра- и нанофильтрации водных растворов с электрическим приводом и содержит противоэлектрод, заряженный противоположно по отношению к мембране. Уравнения модели решаются численно для получения зависимости концентрации мембраны от параметров системы.

Результаты показали, что при фиксированной скорости потока пермеата увеличение скорости подачи приводит к уменьшению концентрационной поляризации. В то же время увеличение скорости потока пермеата при фиксированной скорости подачи приводит к увеличению концентрации на поверхности мембраны. Сильная концентрационная поляризация наблюдается при низких скоростях потока сырья из-за зон застоя вблизи края мембраны с высокой концентрацией растворенного вещества. Также было обнаружено, что 2D-модель предсказывает несколько более высокую концентрацию мембран по сравнению с 3D-моделью, но эта разница становится более заметной при более низких скоростях подачи и высокой степени отбраковки. Более высокие значения отбраковки приводят к более сильной поляризации концентраций. Анализ структуры потока в канале над мембраной показывает, что при высоких скоростях подачи радиальный поток располагается в тонком слое вблизи мембраны, в то время как в остальной части канала наблюдается вихревой поток. Размер вихря уменьшается и смещается в сторону канала подачи с уменьшением скорости потока подачи. Сделан вывод о том, что хорошее соответствие между численными расчетами и аналитическими моделями может быть получено при использовании уменьшенного значения толщины канала, которое соответствует области, где профиль радиальной скорости близок к параболическому.

Модель Де и Бхаттачарья [1], которая использует улучшенную корреляцию чисел Шервуда с учетом потока через мембрану, хорошо согласуется с моделью неподвижной пленки, использующей стандартную корреляцию чисел Шервуда [2]. Однако модель с неподвижной пленкой лучше работает при высоких скоростях потока пермеата и большом количестве брака по сравнению с численными расчетами. Обе модели не позволяют предсказать концентрацию мембраны при низких скоростях потока сырья, когда профиль радиальной скорости сильно неоднороден. Аналитические модели [3, 4] также предсказывают увеличение средней концентрации в мембране с увеличением радиуса мембраны и высоты канала над ней. Предложенный подход может служить основой для прогнозирования поляризации концентрации в фильтровальной ячейке с радиальным потоком раствора и оптимизации ее конструкции.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 23-19-00269).*

#### Список литературы

- [1] DE S. S., BHATTACHARYA P. K. Prediction of mass-transfer coefficient with suction in the applications of reverse osmosis and ultrafiltration // Journal of Membrane Science. 1997. N. 128. P. 119–131.
- [2] BRIAN P. L. T. Concentration polarization in reverse osmosis desalination with variable flux and incomplete

salt rejection // Ind. Eng. Chem. Fund. 1965. N. 4. P. 439–445.

- [3] OREN Y. S., FREGER V., NIR O. New compact expressions for concentration-polarization of trace-ions in pressure-driven membrane processes // J. Membrane Science Letters. 2021. N. 1. Art. 100003.
- [4] ZYDNEY A. L. Stagnant film model for concentration polarization in membrane systems // Journal of Membrane Science. 1997. N. 130. P. 275–281.

#### 2.27. Манаев А.А. Комбинация метода декомпозиции области и спектрального преобуславливателя для решения уравнения Пуассона

Одним из основных направлений физики горных пород является численная оценка эффективных физических свойств пористых материалов. Примерами таких оценок являются оценки коэффициентов абсолютной проницаемости, диффузии, коэффициента теплопроводности, удельного электрического сопротивления. Для получения таких оценок зачастую необходимо численно решать уравнение Пуассона для неоднородной среды с большим контрастом коэффициентов. Из-за большого числа обусловленности матрицы, полученной из аппроксимации уравнения, классические методы решения разреженных СЛАУ неэффективны. Одним из возможных подходов к решению подобных СЛАУ является использование преобуславливателей.

В работе для численного решения уравнения Пуассона используется метод сопряженных градиентов с преобуславливателем, построенным путем комбинации метода декомпозиции области или же блочного преобуславливателя Якоби, а также спектрального преобуславливателя, действие которого основано на спектральном разложении одномерных операторов и последующем решении одномерных задач в каждой подобласти. Также путем аппроксимации обратной матрицы рядом Неймана вводится учет связей между подобластями.

Таким образом, если матрица  $M$  — дискретный оператор Лапласа, то предложенный преобуславливатель аппроксимирует  $M^{-1}$  следующим образом:

$$M^{-1} \approx \Theta D^{-1} \left( I + \sum_{i=1}^k (-\tilde{M}_C D^{-1})^i \right) \Theta^T,$$

где матрица  $\Theta$  — блочно-диагональная ортогональная матрица,  $D$  — блочно-диагональная матрица, соответствующая серии одномерных задач, а  $\tilde{M}_C$  — матрица, действие которой соответствует обмену между подобластями.

Показано, что такой преобуславливатель существенно уменьшает число итераций в сравнении с блочным преобуславливателем Якоби, при этом ненамного дороже с точки зрения числа арифметических операций.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 25–21–00352).*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Лисица В. В.*

## **2.28. Мандарханов Д.М. Разработка и программная реализация клеточно-автоматной модели теплопроводности с граничными условиями первого рода**

Моделирование процессов теплопроводности является ключевой задачей для многих областей науки и техники. Традиционные подходы, основанные на решении дифференциальных уравнений в частных производных, несмотря на свою эффективность, могут приводить к накоплению ошибок округления и сложностям при описании систем с дискретной природой. В этом контексте клеточные автоматы (КА) представляют собой перспективную альтернативу, позволяющую строить модели на основе простых локальных правил взаимодействия, что потенциально снижает влияние вычислительных погрешностей [1].

Целью настоящей работы является разработка, программная реализация и тестирование клеточно-автоматной модели для описания стационарного процесса теплопроводности с граничными условиями первого рода. Научная новизна заключается в формализации правил перехода для граничных и внутренних клеток, обеспечивающих корректное моделирование стационарного теплового поля, и в апробации библиотеки клеточно-автоматных топологий CATlib для решения данного класса физических задач [2].

В основе модели лежит двумерная регулярная решетка. Каждая клетка характеризуется состоянием (температура) и свойством (коэффициент теплопроводности). Эволюция системы описывается итерационным процессом, состоящим из двух фаз. На первой фазе каждая клетка рассчитывает «порцию» тепловой энергии для передачи четырём соседям по окрестности фон Неймана. На второй фазе клетки обновляют свою температуру, суммируя полученные от соседей «порции». Граничные условия первого рода реализуются с помощью клеток специального типа, которые участвуют в теплообмене, но сохраняют свою температуру постоянной на протяжении всего моделирования. Программная реализация выполнена на языке C с использованием библиотеки CATlib.

Для верификации модели было проведено три вычислительных эксперимента. На первом этапе выполнена калибровка на задаче с начальными условиями в виде дельта-функции; результаты моделирования показали хорошее совпадение с аналитическим решением, описывающим процесс диффузии тепла. На втором этапе была решена задача о стационарном распределении температуры в длинном цилиндре (в поперечном сечении); полученное радиальное распределение хорошо согласуется с известным

логарифмическим аналитическим решением. На третьем этапе проведена валидация на задаче о прямоугольном бруске; полученное с помощью КА-модели распределение температуры практически совпало с результатами, полученными в программном комплексе инженерного анализа «ЛОГОС Тепло».

Таким образом, разработанная клеточно-автоматная модель адекватно описывает процесс стационарной теплопроводности и может служить инструментом для моделирования тепловых полей в задачах с простой прямоугольной и криволинейной геометрией и граничными условиями первого рода.

*Научный руководитель — к.т.н. Медведев Ю. Г.*

### **Список литературы**

- [1] БАНДМАН О. Л. Клеточно-автоматные модели пространственной динамики // Системная информатика. 2006. Т. 10. С. 59–113.
- [2] MEDVEDEV Y. Architecture of the Cellular Automata Topologies Library // Bull. Nov. Comp. Center, Comp. Science. 2022. Vol. 46. P. 27–41.

## **2.29. Новгородова А.Н., Мерзлякин Б.С., Матвеев И.В., Шишаев Г.Ю. О двух методах ускоренного вычисления пространственного распределения давления в моделях нефтегазовых месторождений**

В работе представлена практическая реализация методов Pseudo Steady State (PSS) [1] и DTOF (Diffusive Time of Flight) [2] для вычисления давления в геолого-гидродинамических моделях (ГГДМ). Цель исследования — ускорение многократных расчётов поля давления, необходимых при адаптации модели на исторические данные скважинных замеров.

Работа основана на принципе сокращения размерности задачи: вместо трёхмерного уравнения пьезопроводности решается одномерное уравнение по вычислительным контурам, определённым с помощью аппроксимаций PSS и DTOF. DTOF описывает время распространения депрессии, эффективно моделируя ранние стадии разработки, тогда как PSS характеризует псевдоустановившийся режим течения и применим для поздних стадий и сложных условий, включая непроницаемые разломы и высокопроводимые трещины в модели.

Реализация методов PSS и DTOF включает следующие ключевые этапы: параметризация исходных полей свойств для получения вычислительных контуров и редукции задачи, решение одномерных уравнений относительно нового параметра и восстановление распределения давления в трёхмерной модели. При этом переход к одномерным дифференциальным уравнениям позволяет использовать классические численные методы [3].

Преимущество этих подходов состоит в сохранении информации о геолого-гидродинамической неоднородности коллектора с одновременным сокращением вычислительных затрат. Комбинация

DTOF и PSS позволяет покрывать широкий диапазон режимов эксплуатации месторождения, что делает данные методы перспективными для интеграции в автоматизированные системы адаптации ГГДМ.

Таким образом, представленная методология прокси-расчёта давления повышает эффективность численных симуляций, обеспечивая быстрое и точное моделирование процессов фильтрации в сложных геологических условиях.

#### Список литературы

- [1] НАКАИМА К., KING M. Development and Application of Fast Simulation Based on the PSS Pressure as a Spatial Coordinate // Proc. Conf. «SPE Annual Technical Conference and Exhibition». SPE, 2021.
- [2] KING M. J., WANG Z., DATTA-GUPTA A. Asymptotic solutions of the diffusivity equation and their applications // Proc. Conf. «SPE Europec featured at EAGE Conference and Exhibition». SPE, 2016.
- [3] МЕРКУЛОВА Н. Н., МИХАЙЛОВ М. Д., СТАРЧЕНКО А. В. Методы приближенных вычислений: учебное пособие: [для студентов вузов по специальности «математика и механика»] / Томск: Издательский дом ТГУ, 2014. 763 с.

#### 2.30. *Останин П.А., Хамикова М.А. Вариационное усвоение данных в модели ионосферы INM-IM с управлением по начальному условию и правой части*

В работе рассматривается новая версия системы вариационного усвоения данных наблюдений о полном электронном содержании для диффузионной модели F слоя ионосферы Земли INM-IM. Разработка ведётся в рамках деятельности по созданию комплексной модели Земной системы. Модель INM-IM основана на решении уравнения неразрывности для электронной концентрации в приближении амбиполярной диффузии и предположениях о квазинейтральности плазмы и преобладании иона  $O^+$ . Решаемая задача состоит в восстановлении глобального поля электронной концентрации по известным данным наблюдений — интегралам электронной концентрации вдоль траекторий «станция — спутник». Предложен вариант усвоения с одновременным управлением как по правой части, так и по начальным данным. С целью оптимизации используемой памяти применено дополнительное разбиение окна усвоения на меньшие отрезки времени. С помощью численных экспериментов показано, что в рамках обновлённого подхода система воспроизводит основные характеристики верхней ионосферы с высокой точностью.

#### Список литературы

- [1] OSTANIN P., KULYAMIN D., KOSTRYKIN S. ET AL. Four-dimensional variational data assimilation system for the Earth ionosphere // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2025. Vol. 40. N. 1. P. 33–46.
- [2] ДЫМНИКОВ В., КУЛЯМИН Д., ОСТАНИН П., ШУТЯЕВ В. Data Assimilation for the Two-Dimensional Ambipolar Diffusion Equation in Earth's

Ionosphere Model // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2023. Vol. 63. N. 5. P. 845–867.

#### 2.31. *Пекарская Т.А., Сибин А.Н. Влияние солепереноса на фазовый переход в протаивающем снеге и верхнем слое грунта*

Изучение влияния процесса солепереноса на фазовые переходы в протаивающем/промерзающем снеге и верхнем слое грунта особенно актуально в условиях арктических, субарктических и сезонно-мерзлых регионов. Различные примеси, накапливаемые в снежном покрове, при таянии поступают в грунт. Наличие растворенных в воде солей понижает температуру ее замерзания, увеличивая содержания незамерзшей воды в грунте, что приводит к снижению прочности грунта, увеличению риска обвалов, просадке дорог и фундаментов.

В данной работе грунт и снег на его поверхности рассматривается как сплошная пористая среда, состоящая из воды, воздуха, льда и грунта. Частицы льда образуют скелет снега, частицы грунта и льда в порах образуют пористый скелет замерзшего грунта. Процесс фильтрации воды и воздуха в пористом скелете описывается уравнением сохранения массы для каждой из фаз с учетом фазовых переходов и наличия капиллярного давления, уравнением двухфазной фильтрации и уравнением сохранения энергии для пористой среды. Частицы льда и грунта неподвижны, структура льда и грунта как сплошных сред не уточняется [1]. Зависимость для интенсивности фазового перехода «вода — лед» используется из работ [2,3]. Для описания движения растворенной в воде примеси модель тепломассопереноса дополняется уравнением конвективной диффузии из работы [4]. Процессы выпадения в осадок и растворение примеси из твердой фазы не учитываются.

В рамках полученной модели построен конечно-разностный алгоритм, для численного решения задач использовались методы дискретизации уравнений по пространственным переменным и методы интегрирования динамических систем по времени. Численные эксперименты позволили оценить влияние консервативной примеси на динамику пористости и фазовые переходы в снеге и грунте. Результаты численных экспериментов показали хорошую согласованность с физикой процессов таяния/замерзания.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 24-71-00058).*

#### Список литературы

- [1] КОЛЕСНИКОВ А. Г. К изменению математической формулировки задачи о промерзании грунта // Доклады Академии Наук СССР. 1952. Т. 82. № 6. С. 889–891.
- [2] СИБИН А. Н., ПАПИН А. А. Тепломассоперенос в таящем снеге // Прикладная механика и техническая физика. 2024. Т. 62. № 1. С. 109–118.

- [3] СИБИН А. Н., ПАПИН А. А. Моделирование движения растворимой примеси в тающем снеге // Прикладная механика и техническая физика. 2024. Т. 65. № 1. С. 58–69.
- [4] BEAR J. Physical Principles of Water Percolation and Seepage / New York: Unesco Publications Center, 1968. 465 p.
- [2] BEIRAO DA VEIGA L., BREZZI F., CANGIANI A. ET AL. Basic Principles of Virtual Element Methods // Mathematical Models and Methods in Applied Sciences. 2013. Vol. 23. N. 1. P. 199–214.

### 2.32. Петухов К.В. Моделирование процессов распространения тепла в неоднородных областях с применением метода виртуальных элементов

Математическое моделирование теплопереноса в гетерогенных средах представляет собой сложную задачу, связанную с учётом неоднородных свойств материала и геометрии расчётной области. Традиционные методы, в частности метод конечных элементов, требуют построения сеток специального вида, что ведет к росту размерности СЛАУ. В качестве альтернативы предлагается метод виртуальных элементов (Virtual Element Method, VEM). Он является современным обобщением МКЭ, позволяющим работать на полигонах произвольной формы без явного построения базисных функций, что открывает новые возможности для численного анализа задач теплопереноса [1].

Метод виртуальных элементов строится с использованием проекционных операторов, которые обеспечивают согласованность и устойчивость аппроксимации [2]. Локальные матрицы жесткости и массы формируются с использованием проекторов на подпространство полиномов, а вычисления выполняются только по степеням свободы, что делает метод универсальным для полигональных сеток.

В работе предлагаются вычислительная схема и дискретизация задачи теплопереноса с использованием линейных виртуальных элементов. Приводятся верификационные тесты — проверка порядка аппроксимации и сходимости на модельных задачах. Также рассмотрены задачи, приближенные к реальности: задачи стационарного и нестационарного теплопереноса в двумерной области с включениями сложной формы.

Результаты исследований свидетельствуют о практической применимости и достаточной точности метода виртуальных элементов для анализа тепловых процессов в сложных гетерогенных средах. Предложенный подход позволяет эффективно учитывать сложную геометрию и неоднородность материалов при умеренных вычислительных затратах, что открывает новые возможности для решения прикладных инженерных задач.

*Научный руководитель — к.т.н. Итжина Н. Б.*

#### Список литературы

- [1] BEIRAO DA VEIGA L., BREZZI F., CANGIANI A. The Hitchhiker's Guide to the Virtual Element Method // Mathematical Models and Methods in Applied Sciences. 2014. Vol. 24. N. 8. P. 1541–1573.

### 2.33. Писарев М.А., Емельянова Е.С. Исследование особенностей формирования и развития деформационного рельефа в образцах стали 316L, изготовленных методом селективного лазерного сплавления, в условиях одноосного растяжения

Аустенитная нержавеющая сталь 316L является одним из наиболее востребованных металлов в промышленности благодаря высокой прочности и пластичности, износостойкости и др. Аддитивное производство открыло принципиально новые возможности проектирования и быстрого изготовления деталей сложной формы, а также направленной оптимизации структуры критических элементов конструкций. В частности, экспериментальные данные свидетельствуют об увеличении прочностных характеристик в образцах из стали 316L, полученных методом селективного лазерного сплавления (СЛС), по сравнению с образцами из этой же стали, полученными методами традиционной металлургии [1]. В данной работе на разных масштабных уровнях экспериментально и численно исследованы особенности деформационного рельефа в образцах СЛС стали 316L при одноосном растяжении. Показано, что набор неровностей, обусловленных различными механизмами деформации на разных масштабных уровнях, появляется на свободной поверхности образцов в самом начале пластической деформации и постепенно развивается в процессе растяжения. С помощью комбинированного экспериментального, численного и статистического анализа установлена связь между морфологией деформационного рельефа и иерархической структурой материала, характерной для СЛС. Различия в характере деформации при нагружении вдоль и поперёк лазерных треков исследованы и проанализированы в рамках подхода микромеханики в программном пакете Abaqus [2].

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема FWRW-2021-0002.*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Романова В. А.*

#### Список литературы

- [1] LIU L., DING Q., ZHONG Y. ET AL. Dislocation network in additive manufactured steel breaks strength–ductility trade-off // Materials Today. 2018. Vol. 21. N. 4. P. 354–361.
- [2] ROMANOVA V., BALOKHONOV R., EMELIANOVA E. ET AL. Microstructure-based simulations of quasistatic deformation using an explicit dynamic approach // Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering. 2019. Vol. 17. N. 2. P. 243.

### 2.34. Поляков М.В. Математическая модель взаимодействия CAR-T клеток и солидной опухоли на основе уравнений реакции — диффузии

Комплексный характер взаимодействия опухоли и иммунной системы требует применения математических методов для анализа и прогнозирования динамики системы [1, 2].

Основной задачей данного исследования является разработка пространственно-временной модели, описывающей взаимодействие CAR-T клеток с солидной опухолью с учётом ключевых биологических факторов.

Предложена система реакционно — диффузионных уравнений в частных производных

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} = D_C \nabla^2 C + r_C C(1 - C) - k_{CT} CT(1 - a_T) - \\ - k_I CI - h_C C, \\ \frac{\partial T}{\partial t} = D_T \nabla^2 T + r_T T(1 - T) - k_{CT} CT(1 - a_T) - \\ - h_T T, \\ \frac{\partial I}{\partial t} = -\alpha I + \beta T, \\ \frac{\partial a_T}{\partial t} = \gamma T(1 - a_T), \end{cases}$$

где  $C(x, t)$  — плотность CAR-T клеток;  $T(x, t)$  — плотность опухолевых клеток;  $I(x, t)$  — концентрация иммунных ингибиторов;  $a_T$  — степень антигенного ускользания опухоли. Численное решение осуществлялось методом конечных разностей.

Проведены вычислительные эксперименты, продемонстрировавшие пространственно-временную динамику опухоли и CAR-T клеток. Исследовано влияние скорости антигенного ускользания  $\gamma$  и продукции иммунных ингибиторов ( $\beta$ ) на эффективность терапии. Показано, что увеличение этих параметров существенно снижает эффективность уничтожения клеток опухоли.

В модель впервые интегрированы одновременно механизмы антигенного ускользания и продукции растворимых иммунных ингибиторов, что позволяет более адекватно описывать резистентность солидных опухолей к CAR-T терапии.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-71-00041, <https://rscf.ru/project/25-71-00041/>.*

#### Список литературы

- [1] KARA E., JACKSON T.L., JONES C. ET. AL. Mathematical modeling insights into improving CAR T cell therapy for solid tumors with bystander effects // npj Systems Biology and Applications. 2024. Vol. 10. Art. 105.
- [2] ПОЛЯКОВ М.В., ТЕН В.В. Simulation tumor growth in heterogeneous medium based on diffusion equation // International Journal of Modern Physics C. 2024. Vol. 35. N. 1. Art. 2450010.

### 2.35. Рыбков М.В. Согласование областей устойчивости методов второго порядка

В процессе исследования химических реакций и анализа электрических цепей часто приходится сталкиваться с жёсткими системами обыкновенных дифференциальных уравнений. В [1] для их решения предлагаются алгоритмы, базирующиеся на явных методах. Важным параметром, определяющим результативность явного метода, является длина его интервала устойчивости. В связи с этим особую актуальность имеет разработка методов, характеризующихся расширенными областями устойчивости.

В [2] приводятся расчеты задач методами с согласованными областями устойчивости с числом стадий  $m = 14$ . Использование алгоритма получения коэффициентов многочленов устойчивости высоких порядков позволяет создать более высокостабильные методы, которые имеют более вытянутые вдоль действительной оси области устойчивости. Это повышает эффективность расчетов на задачах средней жесткости. Контроль точности обеспечивается за счет оценки локальной ошибки численной схемы, выраженной через уже вычисленные стадии метода на каждом шаге. Применяемые неравенства позволяют определить корректировать величину шага. Контроль устойчивости осуществляет через оценку максимального собственного числа матрицы Якоби системы дифференциальных уравнений. При этом в неравенстве для контроля устойчивости используются величины длин интервалов устойчивости, полученных с помощью алгоритма [3].

Здесь разработан набор методов второго порядка с согласованными областями устойчивости с числом стадий до  $m = 21$ . Приведены результаты расчетов задач (уравнение Ван-дер-Поля, реакция Белоусова — Жаботинского), показывающие более высокую эффективность предлагаемых методов в сравнении с наиболее широко применяемыми.

#### Список литературы

- [1] Новиков Е. А. Явные методы для жестких систем: монография / Новосибирск: Наука, 1997. 195 с.
- [2] Новиков Е. А., Контарева Л. Н. Явные методы второго порядка с согласованными областями устойчивости // Вычислительные технологии. 2001. Т. 6. Ч. 2. С. 40–49.
- [3] Новиков Е. А., Рыбков М. В. Численный алгоритм конструирования областей устойчивости явных методов // Системы управления и информационные технологии. 2014. № 1.1 (55). С. 173–177.

### 2.36. Рябушкин С.В. Применение инструментов численного моделирования для исследования процесса фрезерования льда лопастями ледокольных гребных винтов

Активная эксплуатация судов в тяжелых ледовых условиях обуславливает повышенный уровень ледового воздействия на конструкцию их гребных

винтов (ГВ). Лопасти ледокольных ГВ интенсивно фрезеруют (прорезают) лед. Режим фрезерования является определяющим при назначении прочных размеров лопасти [1]. Для обеспечения ее прочности необходимы соответствующие расчетные модели ледовых нагрузок.

В работе рассмотрены современные подходы к математическому моделированию взаимодействия лопасти ГВ со льдом на режиме фрезерования. Для исследования процесса разрушения льда лопастью используется разработанная авторами численная модель, основанная на бессеточных методах вычислительной механики [2]. Результаты численного моделирования [3] позволяют уточнить современные расчетные схемы по определению параметров ледовых нагрузок на лопасть ГВ [4]. Применение усовершенствованных подходов позволяет выполнять уточненный расчет напряженно-деформированного состояния лопасти (включая ее кромки), обеспечить их прочность и оптимизацию размеров для повышения эксплуатационных характеристик гребного винта и пропульсивного комплекса судна.

*Научный руководитель — д.т.н. Родионов А. А.*

#### Список литературы

- [1] Андришин А. В., Рябушкин С. В., Воронин А. Ю., Шапков Е. В. Sharp Profile for Icebreaking Propellers to Improve Their Ice and Hydrodynamic Characteristics // Journal of Marine Science and Engineering. 2022. Vol. 10. Art. 742.
- [2] Родионов А. А., Рябушкин С. В. Использование бессеточных процедур для численного моделирования механического поведения льда в широком диапазоне внешних воздействий // Морские интеллектуальные технологии. 2024. Т. 2. № 3. С. 83–94.
- [3] Родионов А. А., Рябушкин С. В. Применение бессеточных процедур для моделирования взаимодействия профиля лопасти гребного винта со льдом на режиме фрезерования // Морские интеллектуальные технологии. 2025. Т. 2. № 1. С. 52–65.
- [4] Родионов А. А., Рябушкин С. В. Расширение возможностей гидродинамической модели вытеснения ледового порошка для описания скоростного взаимодействия профиля лопасти гребного винта со льдом // Морские интеллектуальные технологии. 2025. Т. 3. № 2. С. 73–82.

**2.37. Самойлов М. В., Утюпина В. Ю., Джанбекова А. Р., Котов С. В., Арендаренко М. С., Стояновская О. П., Школдин А. А., Голомолзина А. В., Зиборова А. В. Библиотека символьных вычислений для генерации дисперсионных соотношений для уравнений в частных производных и их дискретных SPH-аналогов**

Волновые процессы — явление природы, которое интересует огромное количество исследователей и инженеров. Знание законов распространения волн используется при разработке новых техноло-

гий, проектировании новых устройств. Кроме того, нерешённые фундаментальные проблемы механики сплошных сред связаны с пониманием природы волновых процессов.

Одним из базовых и эффективных методов изучения волн является построение дисперсионных соотношений. Дисперсионное соотношение (ДС) — это алгебраическое уравнение, которое связывает характеристики волны (волновой вектор  $k$  и комплексную частоту  $\omega$ ). Анализ дисперсионных соотношений позволяет предсказывать скорость движения волн и изменение их амплитуды, верифицировать компьютерные модели и обрабатывать результаты экспериментальных измерений.

Ранее, авторам удалось формализовать алгоритм нахождения ДС для систем одномерных однородных квазилинейных уравнений и их дискретных аналогов, полученных с помощью применения конечно-разностных схем [1]. В ходе недавней работы авторы распространили данный подход на схемы SPH-аппроксимации.

Код алгоритма был реализован в виде библиотеки на языке Python с использованием библиотеки символьной математики SymPy. Верификация была проведена путём сравнения результатов работы кода с результатами, полученными вручную.

*Исследование выполнено при поддержке Математического центра в Академгородке, соглашение с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2025-349.*

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

#### Список литературы

- [1] ARENDARENKO M. S., DZHANBEKOVA A. R., KOTOV S. V. ET AL. SymDR: Symbol Computer Algebra Library for Generation of Classical and Approximate Dispersion Relations for Systems of Partial Differential Equations // Lobachevskii J Math. 2025. N. 46, P. 1–12.

**2.38. Скипа В. С. Численное исследование влияния трехмерных эффектов на характеристики воздействия волн типа цунами на полупогруженные сооружения**

При проектировании прибрежных сооружений необходимо исследовать волновое воздействие, особенно, если объекты будут размещаться в цунамиопасных водах [1]. Численное моделирование является важным и эффективным инструментом для таких исследований. В докладе представлены результаты, полученные с использованием двумерной [2] и трёхмерной [3] моделей потенциальных течений, сравнение которых позволило сделать выводы о важности учета дифракции. Рассматривалось взаимодействие поверхностных волн с зафиксированными полупогруженными сооружениями прямоугольного сечения. В ходе исследования изменялись следующие параметры: амплитуда набегающей волны, заглубление, ширина (только в трёхмерной мо-

дели) и длина тела. Результаты численного моделирования показали, что:

- сильнее всего влияние дифракции заметно в значениях амплитуд прошедших и отраженных волн а также по значению и форме вертикальной составляющей вектора сил;
- зависимость заплесков на тыльную грань от заглубления в двух постановках совершенно противоположная: в двумерной заплески уменьшаются с ростом осадки, а в трехмерной — возрастают;
- в трёхмерной постановке максимальные значения возвышения свободной поверхности за телом могут превосходить максимальные значения заплесков на его тыльную грань, что не соответствует результатам расчетов в двумерной постановке.

Можно сделать вывод, что использование трехмерной постановки позволяет учесть эффекты, не описываемые в рамках двумерной. Тем не менее, если отношение ширины тела к его длине возрастает, то важные в проектировании характеристики, такие как заплески и максимумы вектора гидродинамической силы, достаточно близки для двух постановок.

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

#### Список литературы

- [1] Дорфман А. А., Печенин С. А., Семенов К. К. и др. Воздействие волны цунами на морские гидротехнические сооружения и береговые объекты // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2017. Т. 10. № 4. С. 16–30.
- [2] Гусев О. И., Скива В. С., Хакимзянов Г. С. Силовое воздействие длинных поверхностных волн на полупогруженное в воду тело. I. Влияние формы набегающей волны // *Вычислительные технологии*. 2022. Т. 27. № 4. С. 33–62.
- [3] Гусев О. И., Скива В. С., Хакимзянов Г. С., Чубаров Л. Б. Численный анализ характеристик взаимодействия уединенной волны с неподвижным полупогруженным телом прямоугольного сечения // *Прикладная механика и техническая физика*. 2023. Т. 64. № 6. С. 119–132.

#### 2.39. Сухинина К.С. Нелинейная модель деформирования и разрушения призабойной зоны пласта: реализация, калибровка и валидация

В исследовании рассматривается призабойная зона пласта, включающая обсаженную и зацементированную скважину. При моделировании учитываются термомеханические нагрузки, обусловленные изменением температуры, пластовым давлением и неоднородностью напряжённого состояния горного массива. Основная цель работы заключается в выявлении зон возможного разрушения цементного кольца и прилегающей горной породы в процессе эксплуатации скважины, что имеет ключевое зна-

чение для предотвращения заколонных перетоков и утечек закачиваемого флюида (например, CO<sub>2</sub> или жидкости гидроразрыва пласта).

Для решения поставленной задачи разработана модель, учитывающая термopoppyrroгкие эффекты, пластические деформации и деградацию прочностных и порoopyrroгких свойств материалов [1]. Численная реализация осуществлена методом конечных элементов при использовании явных схем [2]. Проведена верификация алгоритма на ряде контрольных сценариев и выполнена калибровка модели повреждённости по экспериментальным данным.

В ходе вычислительных экспериментов исследовано влияние температуры закачиваемой жидкости, объёмной усадки цемента, пластового давления и начального напряжённого состояния на формирование зон повреждённости. Установлено, что усадка цемента способствует образованию кольцевых зазоров, а температурный контраст между закачиваемым флюидом и породой увеличивает вероятность отслоения цементного кольца от обсадной колонны за счёт дополнительных радиальных растягивающих напряжений. Также показано влияние начального напряжённого состояния на характер формирования и локализацию трещин.

Полученные результаты создают основу для выбора оптимальных режимов эксплуатации скважин и разработки мер, направленных на снижение риска утечек CO<sub>2</sub> при реализации проектов его геологического захоронения.

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

#### Список литературы

- [1] Coussy O. Poromechanics / Chichester: John Wiley & Sons, 2004. 298 p.
- [2] Wriggers P. Nonlinear finite element methods / Springer Science & Business Media, 2008. 559 p.

#### 2.40. Толстых М.А. Необходимое условие оптимальности в задаче идентификации вектора функций для диффузионной модели

Рассматривается модель диффузии информации в социальных сетях в виде одномерного параболического уравнения [1]:

$$\frac{\partial v(x, t)}{\partial t} - p \frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial x^2} - r(t)h(x)\theta(v(x, t) - \varepsilon) = 0,$$

$$x, t \in \Omega = (x_a, x_b) \times (t_0, t_1),$$

где  $v(x, t)$  — информация (количество репостов новости),  $x$  — расстояние от первоисточника новости,  $hr\theta(v)$  — возможные внешние источники;  $p$  — коэффициент диффузии информации,  $h(x)$  — пропускная способность социальной сети,  $r(t)$  — скорость реакции пользователей.

Поставлена задача идентификации вектора оптимальных параметров  $u$  данной модели. Критерий качества идентификации:

$$J(u) = \sum_{i=1}^n (v_i - v_{e,i})|_{t_1}^2 \rightarrow \min,$$

с наблюдениями в момент стабилизации процесса распространения новости. Здесь  $u = p, r(t), h(x) \in L_2^3(\Omega)$  — вектор-функция параметров с тремя компонентами,  $v_{e,i}$  — экспериментально наблюдаемое состояние информации в узлах  $i$  графа сети.

Поскольку функционал  $J$  зависит от управления  $u$  не явно, а через дифференциальные уравнения модели, то здесь целесообразно применять прямой экстремальный подход [2] на основе градиента.

Было найдено аналитическое выражение градиента:

$$\begin{aligned} \nabla_p J &= \mathbb{U}_p^* f = - \iint_{t_1}^{t_2} f \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} dx dt, \\ \nabla_h J &= \mathbb{U}_h^* f = - \int_{x_a}^{x_b} f r \Theta(v - \varepsilon) dt, \\ \nabla_r J &= \mathbb{U}_r^* f = - \int_{x_a}^{x_b} f h \Theta(v - \varepsilon) dx, \end{aligned}$$

которое находится через решение сопряженной задачи  $f$  [3].

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Азово-Черноморского математического центра (Соглашение от 27.02.2025 № 075-02-2025-1608).*

#### Список литературы

- [1] Толстых М. А. Математическая модель диффузии информации в социальной сети // Мат. междунар. конф. Воронежская зимняя мат. школа «Современные методы теории функций и смежные проблемы». Воронеж: Воронежский государственный университет, 2025. С. 334–336.
- [2] Толстых В. К. Прямой экстремальный подход для оптимизации систем с распределенными параметрами / Донецк: Юго-Восток, 1997. 178 с.
- [3] MARSHUK G. I., SHUTYAEV V. P. Conjugate Equations and Iterative Algorithms in Problems of Variational Data Assimilation // Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics. 2012. Vol. 276. N. 1. P. 138–152.

#### 2.41. Трусов К. В. Фильтрация двухфазных жидкостей с диффузной межфазной границей

Результаты многочисленных физических экспериментов и соответствующей цифровой 3D-обработки ядер свидетельствуют о надежности математических моделей многофазных течений, основанных на понятии фазового поля, уравнениях Навье—Стокса и Кана—Хиллиарда. Однако для прогнозирования характера течений в больших объемах пористой среды учет сложной системы

микроканалов приводит к вычислительным трудностям. Поэтому развиваются методы осреднений уравнений Навье—Стокса и Кана—Хиллиарда.

Наиболее распространенным и действенным подходом к усреднению уравнений в неоднородных средах является метод двухмасштабных разложений. Применение этого метода обусловлено тем, что процессы в порах и ядрах отличаются пространственными масштабами. Теория двухмасштабной гомогенизации позволяет математически разделить эти масштабы с помощью макро- и микроуравнений.

С помощью метода двухмасштабной гомогенизации примененного к системе уравнений Навье—Стокса и Кана—Хиллиарда получены выражения для скоростей фаз в случае сильной и слабой смесимости. Сила смесимости определяется корреляцией между параметром масштаба и поверхностным натяжением.

Макроскопическая скорость фронта вытеснения определяется разницей давлений и капиллярными эффектами. Показано, что вытеснение может осуществляться в отсутствие перепада давлений: только за счёт капиллярных сил. Такой результат был получен и в случае сильной смесимости.

В пределе тонкой межфазной границы решена автомодельная задача противоточной капиллярной пропитки с помощью пакета Wolfram Mathematica. По результатам вычислений видно, что в случае тонкой межфазной границы пропитка происходит быстрее, чем в случае диффузной межфазной границы. В среде FreeFem++ реализована программа для вычисления капиллярной диффузионной энергии на ячейке периодичности в пределе тонкого межфазного слоя методом конечных элементов. Методом Левенберга—Марквардта построены кривые, аппроксимирующие зависимость энергии от насыщенности.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта «Современные модели гидродинамики для задач природопользования, промышленных систем и полярной механики» (2024-26) (гос. задание FZMW-2024-0003)*

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

#### Список литературы

- [1] Шелухин В. В., Крутько В. В., Трусов К. В. Фильтрация сильно смешиваемых жидкостей на основе двухмасштабной гомогенизации уравнений Навье—Стокса и Кана—Хиллиарда // Прикладная механика и техническая физика. 2023. Т. 64. № 3 (379). С. 161–173.
- [2] AMIRAT Y., SHELUKHIN V., TRUSOV K. Flows of Two Slightly Miscible Fluids in Porous Media: Two-Scale Numerical Modeling // Transport in Porous Media. 2024. Vol. 151. P. 1423–1452.

**2.42. Фунтикова А.С., Можаров А.М., Шаров В.А., Федоров В.В. Численный анализ нелинейно-оптических свойств в мезопористых наночастицах Si/SiO<sub>2</sub>**

Нелинейно-оптические явления второго порядка находят широкое применение при создании элементов нанофотоники, когерентных источников излучения, оптических усилителей, преобразователей частоты и других устройств. Наиболее распространёнными материалами для эффективных нелинейных преобразователей являются кристаллы дигидрофосфата калия (KDP), ниобата лития (LiNbO<sub>3</sub>), а также соединения типа АПВВ [1], обладающие высокими значениями нелинейной оптической восприимчивости. Однако высокая стоимость синтеза структур на основе соединений АПВВ и их низкая совместимость с кремниевой технологией существенно затрудняют интеграцию таких устройств в современные оптические системы.

Кремниевая платформа предоставляет возможности для создания различных, в том числе наноразмерных, структур, характеризующихся простотой изготовления и низкой стоимостью. Однако основной проблемой нелинейной оптики на основе кремния является невозможность реализации нелинейных эффектов второго порядка вследствие наличия центра инверсии в кристаллической решётке кремния. Тем не менее, существует ряд подходов, позволяющих обойти указанный запрет, например, за счёт нарушения симметрии на границах кристаллов, а также за счёт учёта взаимодействий более высокого порядка малости. Величина таких эффектов определяется морфологией и свойствами поверхности кристаллов. В частности, использование пористого кремния [2] и кремниевых наночастиц позволяет значительно повысить эффективность нелинейных оптических процессов.

Альтернативным подходом к увеличению оптического отклика системы является повышение удержания внутренней энергии. Достижение данного эффекта возможно посредством использования различных типов резонаторов, в частности, применением резонанса Ми на структурах сферической геометрии, а также использованием металлических подложек для возбуждения поверхностного плазмонного резонанса. Совмещение резонансов различной природы или резонансов, возникающих на разных длинах волн, может привести к значительному усилению нелинейного оптического отклика системы, включая процессы генерации второй гармоники (ГВГ).

В работе проведён численный анализ процессов генерации второй гармоники в сферических мезопористых наночастицах с различными диаметрами, представляющих собой композитные структуры на основе каркаса оксида кремния (SiO<sub>2</sub>), заполненного кремнием. Рассмотрены особенности про-

явления нелинейного отклика в зависимости от геометрических параметров системы. Путём численного моделирования изучена зависимость сечения рассеяния и эффективности ГВГ от диаметра наночастиц и длины волны возбуждающего излучения. Показано, что значительное усиление сигнала второй гармоники может быть достигнуто благодаря двум основным резонансным механизмам: локализации электромагнитного поля на длине волны падающего света и реализации резонанса Ми на длине волны второй гармоники. Установлено, что оптимальный подбор диаметров наночастиц, обеспечивающий одновременно выполнение резонансных условий для обеих длин волн, приводит к существенному увеличению эффективности процесса ГВГ. Для исследуемых композитных мезопористых наночастиц Si/SiO<sub>2</sub> выявлено, что наибольший вклад в нелинейный отклик вносит внешняя поверхность наночастиц. Таким образом, комбинированное использование резонансных эффектов, реализуемых для разных длин волн (падающего света и ГВГ), обеспечивает эффективный способ управления и существенного повышения интенсивности ГВГ в рассматриваемых структурах.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования (грант государственного задания FSEG-2024-0017)*

**Список литературы**

- [1] ANTHUR A. P., ZHANG H., AKIMOV Y. ET AL. Second harmonic generation in gallium phosphide nanowaveguides // Optics Express. 2021. Vol. 29. N. 7. P. 10307–10320.
- [2] MURZINA T. V., KOLMYCNEK I. A., MAIDYKOVSKI A. I. ET AL. Second- and third-harmonic generation and hyper-Rayleigh scattering in porous-silicon-based photonic microcavities // Optics letters. 2008. Vol. 33. N. 22. P. 2581–2583.

**2.43. Хорунженко А.С. Исследование направленности распространения волн цунами в Японском море методом декомпозиции расчётной области**

Волны цунами — это волны, распространяющиеся под действием силы гравитации от начального смещения водной поверхности от нулевого уровня. Такие смещения водной поверхности могут возникать в результате подводного землетрясения, подводного оползня или обвала больших масс грунта в океан (в частности в результате взрыва вулкана). Цунами сейсмического генезиса корректно описываются системой нелинейных уравнений мелкой воды без учёта сил Кориолиса и донного трения [1].

Эта система дифференциальных уравнений решается с помощью разностной схемы МакКормака [2]. Используемая для расчета распространения цунами разностная схема МакКормака с промежуточным слоем по времени требует как минимум 10 цифровых массивов гидродинамических параметров тече-

ния: величина смещения водной поверхности и компоненты скорости на временном слое  $n$ , промежуточном слое  $n + 1/2$  и временном слое  $n + 1$ , плюс массив цифровой батиметрии. Поэтому при больших размерах акватории, где проводится моделирование, объём всех массивов, участвующих в вычислениях, может превысить объём оперативной памяти компьютера. Для численных расчётов распространения цунами в больших областях на детальных сетках при дефиците оперативной памяти предлагается делить всю расчётную область на несколько частей и пошагово вести расчёт отдельно в каждой из подобластей.

Суть метода состоит в том, что вся расчётная область делится на 8 подобластей в виде вертикальных полос одинаковой ширины. Волновые параметры в каждой подобласти вычисляются по разностной схеме. После каждого шага по времени производится обмен вычисленными данными между граничными столбцами подобластей. Таким образом, отпадает необходимость вводить дополнительные «искусственные» граничные условия на стыках подобластей, поскольку все необходимые данные по факту передаются из соседних зон.

Предложенный подход может быть реализован как в однопоточном режиме (когда блоки рассчитываются поочерёдно), так и в параллельном (каждая подобласть обрабатывается на своём процессоре или узле кластера). В последнем случае выигрыш особенно велик, если число блоков согласовано с количеством вычислительных устройств, позволяя эффективнее загружать систему.

Численные расчёты проводились в сеточной области размером  $3601 \times 4801$  узлов, покрывающей область от  $33.0^\circ$  до  $53.0^\circ$  СШ и от  $127.3^\circ$  до  $142.3^\circ$  ВД. Цифровая батиметрия для численных расчётов детально 15 географических секунд была получена из глобальной батиметрической базы GEBCO-2024. Пространственные шаги расчётной сетки, привязанной к географическим координатам, равны  $0.00416667$  географического градуса в обоих направлениях. Географически выбранная область полностью включает в себя Японское море. Рассматриваемая была разделена на 8 подобластей, имеющих вид вертикальных полос. Для изучения вопроса о направленности излучения волновой энергии цунами очагами, расположенными вдоль западного побережья островов Хонсю и Хоккайдо была проведена серия вычислительных экспериментов с модельными эллипсоидными очагами одинакового размера, расположенными вблизи западного побережья Японии, при этом ориентация их длинных осей выбиралась примерно параллельной береговой линии [3, 4].

Проведённая серия численных расчётов позволила разделить выявленные очаги цунами, на те, которые вызывают наиболее высокие волны (по сравнению с другими очагами) на восточном побережье

Корейского п-ова, и прочие, направленные на Российское побережье, находящееся на Северной стороне Японского моря.

Разработанный метод декомпозиции расчётной области позволяет корректно рассчитывать распространение цунами в достаточно больших областях с хорошей детальностью, используя ограниченные вычислительные ресурсы персонального компьютера.

#### Список литературы

- [1] TITOV V. V., GONZALEZ F. I. Implementation and Testing of the Method of Splitting Tsunami (MOST) Model // NOAA Technical Memorandum ERL PMEL-112. Washington, DC, USA, 1977.
- [2] MACCORMACK R. W., PAULLAY A. J. Computational Efficiency Achieved by Time Splitting of Finite-Difference Operators // AIAA paper. 1972. P. 72–154.
- [3] LAVRENTIEV M., LYSAKOV K., MARCHUK A. ET AL. Fundamentals of Fast Tsunami Wave Parameter Determination Technology for Hazard Mitigation // Sensors. 2022. Vol. 22. N. 19. Art. 7630.
- [4] MARCHUK A. G. Benchmark solutions for tsunami wave fronts and rays. Part 2: Parabolic bottom topography // Science of Tsunami Hazards. 2017. Vol. 36. N. 2. P. 70–85.

#### 2.44. Цгоев Ч.А. Математическое моделирование инфаркта миокарда

Математическое моделирование инфаркта миокарда позволяет расширить знания о механизмах развития и прогрессирования сердечной болезни, которая остается одной из основных причин смерти во всем мире.

В работе представлена разработанная вычислительная технология структурной и параметрической идентификации систем дифференциальных уравнений. Технология основана на экспериментально-вычислительном подходе и принципах декомпозиции–сборки, что позволяет свести сложную задачу идентификации к последовательности существенно более простых подзадач.

На основе данной технологии построена иерархия математических моделей некротической гибели кардиомиоцитов при остром инфаркте миокарда, включающая две точечные и одну реакционно-диффузионную модель. Точечные модели описывают процессы гибели кардиомиоцитов, взаимодействие про- и противовоспалительных факторов, а также динамику поляризации макрофагов в ядерной зоне инфаркта. Реакционно-диффузионная модель является расширением, позволяющим исследовать пространственно-временные аспекты формирования и развития очага повреждения.

Проведенные численные эксперименты позволили выявить закономерности динамики воспалительного ответа, определить условия перехода от благоприятного сценария течения болезни к патологическому, вплоть до терминального, а также оценить

влияние различных терапевтических и патологических факторов на ход воспалительного процесса и степень повреждения миокарда. Адекватность разработанных моделей подтверждается согласованием полученных результатов с данными лабораторных исследований.

#### 2.45. Чусовитина А.И. Влияние температуры на динамику модели замкнутой микроэкосистемы

Работа посвящена исследованию влияния температуры среды на существование и устойчивость положения равновесия для модели замкнутой микроэкосистемы. Модель, для которой было проведено исследование, представлена в работе [1].

Рассмотренная модель микроэкосистемы представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих динамику двух популяций, их трофическое взаимодействие, а также законы миграции питательных веществ в экосистеме. Функция температурной зависимости  $f(T)$  влияет на скорость роста популяций в системе. Некоторые параметры, использованные для построения функции были получены из экспериментальных данных, описанных в работах [2, 3].

Была определена температура, при которой у системы существует положение равновесия. С помощью численных методов было найдено стационарное решение для некоторых значений температуры среды. Найденные решения были проверены на устойчивость с помощью методов Ляпунова [4]. Также в ходе работы было исследовано влияние изменения температуры среды на устойчивость системы, уже находящейся в положении равновесия.

*Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ (Соглашение 075-02-2025-1790).*

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Золотов О. А.*

#### Список литературы

- [1] ZOLOTOV O. A., CHUSOVITINA A. I., ZALIZNIAK V. E. Stability of a Steady State of Closed Microecosystem «algae – heterotrophic bacteria» // Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. 2025. Vol. 18. N. 2. P. 161–170.
- [2] JOSEPHINE A., KUMAR T. S., SURENDRAN B. Evaluating the effect of various environmental factors on the growth of the marine microalgae, *Chlorella vulgaris* // Frontier Marine Science. 2022. Vol. 9. Art. 954622.
- [3] MAIER R. M. Bacterial Growth // Environmental Microbiology. Academic Press. 2009. P. 37–54.
- [4] ЛЯПУНОВ А. М. Общая задача об устойчивости движения / М: Государственное издательство технической литературы, 1950. С. 472.

#### 2.46. Шевелев Е.И. Экономичная схема компенсации нелинейных эффектов в оптоволоконных системах связи на основе обратного распространения и теории возмущений

Волоконно-оптические системы связи сталкиваются с увеличением нелинейных искажений сигнала при росте его мощности для удовлетворения растущих требований к пропускной способности и дальности передачи данных [1]. Традиционные методы компенсации, такие как цифровое обратное распространение (DBP) [2] и модели на основе теории возмущений (РВМ) [3], обладают как преимуществами, так и существенными ограничениями: DBP обеспечивает высокую точность, но требует чрезмерных вычислительных ресурсов из-за необходимости использования большого числа шагов по длине волокна, в то время как РВМ-методы, хотя и менее вычислительно затратны, демонстрируют снижение точности при больших расстояниях передачи и высоких уровнях мощности сигнала.

Для решения этой проблемы был разработан новый метод — цифровое обратное распространение на основе теории возмущений (РВ-DBP), который сочетает многошаговую архитектуру DBP с более полной моделью нелинейности, основанной на теории возмущений. Ключевым преимуществом данного подхода является возможность учёта не только эффектов фазовой самомодуляции, но также фазовой кросс-модуляции и четырёхволнового смешения, что особенно важно для линий связи большой протяжённости. Для оптимизации параметров предложенной схемы использовались методы машинного обучения — архитектура РВ-DBP реализована как глубокая многослойная модель с чередующимися линейными и нелинейными блоками, а её параметры, включая коэффициенты возмущений для различных типов нелинейных взаимодействий, обучались с помощью алгоритма обратного распространения ошибки на основе соответствия между начальным и восстановленным сигналом.

Валидация метода на экспериментальных данных, полученных на макете линии связи протяжённостью 2000 км (20 пролётов по 100 км) со скоростью передачи 126 Гбит/с, подтвердила эффективность предложенного метода: РВ-DBP продемонстрировал устойчивое улучшение параметра сигнал/шум, достигнув максимального прироста  $\Delta SNR$  1.6 дБ по сравнению с традиционным DBP (1.2 дБ) и модифицированным Enhanced DBP (1.34 дБ), обеспечив при этом более эффективное соотношение между точностью компенсации нелинейных искажений и вычислительной сложностью алгоритма, что делает его перспективным для практической реализации в современных высокоскоростных оптических системах передачи данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 25-61-00010, <https://rscf.ru/project/25-61-00010/>).

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

#### Список литературы

- [1] WINZER P. J., NEILSON D. T., SHRAPLYVY A. R. Fiber-optic transmission and networking: the previous 20 and the next 20 years // Opt. Express. 2018. Vol. 26. No. 18. P. 24190–24239.
- [2] IP E., KAHN J. M. Compensation of Dispersion and Nonlinear Impairments Using Digital Backpropagation // Journal of Lightwave Technology. 2008. Vol. 26. No. 20 P. 3416–3425.
- [3] REDYUK A., SHEVELEV E., DANILKO V. ET AL. ML-Assisted Particle Swarm Optimization of a Perturbation-Based Model for Nonlinearity Compensation in Optical Transmission Systems // Journal of Lightwave Technology. 2025. Vol. 43. No. 5. P. 2143–2150.

#### 2.47. Юношева Е.В. Мезоскопическое моделирование многофазных многокомпонентных течений

Принятие решения об эксплуатации скважины очень важно, поэтому от качества входных данных может зависеть многое. Перед тем, как выбрать режим эксплуатации скважины, нужно собрать довольно много информации, в том числе провести лабораторные эксперименты над образцом керна (проба породы). Лабораторные эксперименты дорогие и долгие (некоторые эксперименты занимают до семи месяцев), а чем дольше скважина простаивает в ожидании результатов, тем больше денег теряет.

Поэтому выгодно переходить к цифровому аналогу керна, он будет быстрее и дешевле [1]. То есть нам нужно исследовать, какое течение возникает при подаче в породу жидкости или газа. Далее, при нефтедобыче часто попадает смесь воды и углеводородов в жидком и газообразном состояниях (вода, нефть и газ). Другими словами, встречаются три фазы: жидкая вода, которая почти не смешивается с углеводородами, и углеводороды, смешивающиеся между собой, в жидкой и газообразной формах. Такая смесь возникает, например, при закачке воды и газа, воду используют для вытеснения нефти и поддержания пластового давления. Газ закачивается для уменьшения вязкости нефти (что поможет извлечь ее из труднодоступных пор). Резюмируя, нужно уметь моделировать трехфазное многокомпонентное течение с частичным смешиванием в пористой среде.

Работа посвящена моделированию двух- и трехфазной многокомпонентной смеси с водой с частичным смешиванием. Для моделирования мы будем использовать метод решеточных уравнений Больцмана. Для описания разделения фаз многокомпонентного флюида мы будем использовать метод свободной энергии [2]. Ранее моделирование трех фаз

с водой и частичным смешиванием в методе решеточных уравнений Больцмана реализовано не было, были реализованы три несмешивающиеся фазы [3] и три смешивающиеся фазы без воды [2]. Учет воды в нашей модели взят из статьи [4]. Было реализовано несколько двухкомпонентных смесей углеводорода с водой, например, бутан/вода и декан/вода. К тому же была реализована трехфазная трехкомпонентная смесь пропан/бутан/вода.

#### Список литературы

- [1] Зиньков А. В., Макишин В. Н. Цифровизация керна: учебное пособие для вузов / Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2023. 73 с.
- [2] SOOMRO M., AYALA L. F., PENG C., AYALA O. M. Fugacity-based lattice Boltzmann method for multicomponent multiphase systems // Phys. Rev. E. 2023. Vol. 107. Art. 015304.
- [3] JIANG F., TSUJI T. Estimation of three-phase relative permeability by simulating fluid dynamics directly on rock-microstructure images // Water Resour. Res. 2017. Vol. 53. P. 11–32.
- [4] SOREIDE I., WHITSON C. H. Peng-Robinson predictions for hydrocarbons, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, and H<sub>2</sub>S with pure water and NaCl brine // Fluid. Phase Equilib. 1992. Vol. 77. P. 217–240.

#### 2.48. Ямов А.А. Численное моделирование течений в шероховатых каналах для оценки применимости формул, корректирующих закон Пуазейля

Закон Пуазейля:

$$\Delta p = \frac{\mu q L}{w^3} \quad (1)$$

определяет перепад давления  $\Delta p$  при ламинарном течении несжимаемой жидкости с расходом  $q$  и вязкостью  $\mu$  в плоском канале длины  $L$  постоянной ширины  $w$ . Данный закон используется также для описания течения жидкости в естественных трещинах горных пород и трещинах гидроразрыва [1], однако наличие шероховатости реальных каналов может приводить к существенным отклонениям в расчетах. Поэтому возникает необходимость добавления в (1) корректирующего коэффициента, учитывающего шероховатость берегов. Хотя построение формулы для этого коэффициента является предметом многочисленных исследований [2], окончательная теория еще далеко не сформирована [3].

В настоящей работе с использованием программного комплекса CADRUN [4] в двумерной и трехмерной постановках было проведено численное моделирование ламинарных течений в каналах с неровными берегами для оценки погрешности самого закона Пуазейля (1) и некоторых формул, учитывающих различные коэффициенты шероховатости. Поверхности берегов канала были заданы в виде периодических функций, что позволило проводить расчет и анализ на одном элементе канала с заданной точностью. Несмотря на то что рассмотре-

ние относительно ограниченного класса поверхностей не дает возможности вывести универсальную формулу, анализ численных расчетов позволил выделить диапазон параметров (частота, амплитуда и форма шероховатости), при которых закон (1), а также аналитические и статистические соотношения оказываются неприменимыми.

Показано также, что такие характеристики шероховатости, как среднее значение и среднеквадратичное отклонение поверхности, несмотря на их широкое распространение, не могут служить основой для построения формулы корректирующего коэффициента закона Пуазейля (1) ни для каналов с берегами произвольной формы ни для более узкого класса каналов с симметричными берегами. В то же время для каналов с параллельными берегами, форма которых задается тригонометрическими функциями, удалось выявить параметры, определяющие значение корректирующего коэффициента.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 25-21-00031).*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Лапин В. Н.*

#### Список литературы

- [1] Черный С. Г., Лапин В. Н., Есипов Д. В., Куранков Д. С. Методы моделирования зарождения и распространения трещин / Новосибирск: Ин-т вычислительных технологий СО РАН, 2016. 312 с.
- [2] He X., Sinan M., Kwak H., Hoteit H. Numerical modeling of the effects of roughness on flow and eddy formation in fractures // *Adv. in Water Res.* 2021. Vol. 154. Art. 103984.
- [3] NGUYEN X. X., DONG J.-J., YU C. W. Is the widely used relation between mechanical and hydraulic apertures reliable? Viewpoints from laboratory experiments // *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.* 2022. Vol. 159. Art. 105226.
- [4] Черный С. Г., Чирков Д. В., Лапин В. Н. и др. Численное моделирование течений в турбомашинах / Новосибирск: Наука, 2006. 201 с.

#### 2.49. Яржимбаева И. А. Моделирование и исследование высоковольтного электроискрового метода контроля кабельных изделий

Надежность кабельных изделий во многом определяется состоянием их изоляции. Дефекты, такие как микротрещины или неоднородности, могут существенно снижать эксплуатационные характеристики и приводить к пробоям. Традиционные емкостные методы диагностики позволяют выявлять изменения диэлектрических свойств, однако их эффективность ограничена при обнаружении скрытых дефектов. В связи с этим актуальным является использование высоковольтного электроискрового метода, основанного на регистрации пробоев в слабых местах изоляции [1].

В работе проведено сравнение электроемкостного и электроискрового методов контроля. Показано, что первый целесообразно применять для пред-

варительной оценки состояния изоляции, тогда как второй обеспечивает точную локализацию дефектов, включая микропоры и трещины [2].

Основная часть исследования была посвящена моделированию электроискрового метода с использованием программного комплекса COMSOL Multiphysics 6.1. Разработаны и проанализированы три модели провода с изоляцией из ПВХ-пластиката. Первоначальная модель содержала геометрические неточности, вторая версия позволила достичь более корректного распределения потенциала, а третья — с добавлением дополнительных рядов электродов — максимально приблизила результаты к условиям реальных промышленных установок.

Проведённый анализ подтвердил высокую чувствительность электроискрового метода к скрытым дефектам и продемонстрировал эффективность использования численного моделирования для оптимизации параметров контроля. Полученные результаты могут быть использованы при разработке интегрированных диагностических систем, совмещающих преимущества емкостного и искрового подходов, что позволит повысить надежность эксплуатации кабельных изделий.

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

#### Список литературы

- [1] Пешков И. Б., Леонов В. М., Рязанов И. Б., Холодный С. Д. Основы кабельной техники / Под ред. И. Б. Пешкова. М.: Академия, 2006. 432 с.
- [2] ГОСТ Р 54813-2011. Кабели, провода и шнуры электрические. Электроискровой метод контроля. Введён 2013-01-01 / М.: Стандартинформ: Изд-во стандартов, 2012. 16 с.

### 3. Информационно-вычислительные технологии

#### 3.1. *Бернар А. Machine learning aided RANS models for turbulent flows*

Predictions of turbulent flows at high Reynolds numbers are of key interest in various applications of aerospace, energy, environment and other fields. However, computational fluid dynamics models either require too huge computing resources, such as eddy-resolving methods of direct numerical simulation (DNS) and large eddy simulation (LES), or lead to considerable errors and uncertainties, such as Reynolds-averaged Navier–Stokes (RANS) equation models. Despite the recent advancements in computational power, RANS models are still used widely to solve practical problems. The goal of the current work is to improve the accuracy of the latter models, through the use of machine learning (ML) algorithms, while keeping its computational time relatively low.

To perform this task, high-fidelity data from DNS and LES for different canonical flows is coupled with the relating low-fidelity data from RANS simulations [1]. Two ML methods are considered: tensor basis random forest [2] and tensor basis neural network [3]. They both rely on the assumption that the Reynolds stress anisotropy (RSA) tensor can be expressed as the linear combination of a basis of ten tensors [4] extracted from the RANS simulation data. To obtain new results, the RSA tensor is propagated into a RANS solver modified properly. The baseline RANS solver includes the linear eddy viscosity model (LEVM) approximation to compute RSA, while the modified solver uses the ML predicted RSA instead. All RANS simulation data are obtained using the OpenFOAM software, with the baseline (simpleFoam) and modified solvers.

This work explores the ability of the ML models to predict accurately the RSA tensor in two-dimensional steady state computations of canonical turbulent flows in channels versus that of LEVM, as well as the impacts on the velocity behavior after propagation of the RSA fields obtained using ML.

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Яковенко С. Н.*

#### Список литературы

- [1] MCCONKEY R., YEE E., LIEN F.-S. A curated dataset for data-driven turbulence modelling // *Sci. Data*. 2021. Vol. 8. 255.
- [2] KAANDORP M. L. A., DWIGHT R. P. Data-driven modelling of the Reynolds stress tensor using random forests with invariance // *Comput. Fluids*. 2020. Vol. 202. Art. 104497.
- [3] LING J., KURZAWSKI A., TEMPLETON J. Reynolds averaged turbulence modelling using deep neural networks with embedded invariance // *J. Fluid Mech.* 2016. Vol. 807. P. 155–166.

- [4] POPE S. B. A more general effective-viscosity hypothesis // *J. Fluid Mech.* 1975. Vol. 72. N. 2. P. 331–340.

#### 3.2. *Вегнер Ю.С. Имитационная модель и расчет показателей надежности вычислительных систем с различными функциями распределения времени*

Масштабируемая вычислительная система (ВС) — это совокупность однородных вычислительных узлов, объединённых для выполнения сложных вычислений с возможностью расширения [1]. Современные ВС содержат десятки тысяч узлов и более. Так, в 65-й редакции Top500 такие ВС как El Capitan и Frontier имеют 11136 и 9408 вычислительных узлов, соответственно. Рост производительности ВС достигается за счет увеличения вычислительных ресурсов. Однако с ростом числа узлов увеличивается вероятность отказов, что снижает надёжность системы. Анализ функционирования и надежности масштабируемых вычислительных систем становится актуальной задачей.

В данной работе представлена имитационная модель исследования отказов и восстановлений в ВС, основанная на процессах теории массового обслуживания (ТМО) [2]. Предложенная модель имитирует отказы и восстановление узлов в ВС. Времена между отказами и восстановлениями элементарных машин (узлов) описываются заданными распределениями. В модель были включены функции распределения, отличные от пуассоновского, в частности логнормальное и распределение Вейбулла.

Результатом работы программы является рассчитанные моменты случайных величин, в нашем случае это математическое ожидание и дисперсия числа отказавших или исправных элементарных машин вычислительных систем. Модель была согласована с аналитическими решениями для анализа функционирования вычислительных систем по заданным процессам в рамках ТМО [1].

Проведенные эксперименты имитационного моделирования функционирования ВС показали влияние выбора функции распределения времени между отказами и восстановлениями на показатели надежности.

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

#### Список литературы

- [1] ХОРОШЕВСКИЙ В. Г. Архитектура вычислительных систем / М.: МГТУ им. Баумана, 2008. 519 с.
- [2] СААТИ Т. Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения / М.: Советское радио, Издание 2-е, 1971.

### 3.3. Гемузов А.С. Применение методов машинного обучения для предсказания нелинейной эволюции оптических импульсов в волоконных усилителях

Нелинейная эволюция ультракоротких оптических импульсов в волоконных лазерных системах представляет значительный интерес, поскольку такие импульсы находят широкое применение в различных областях науки и техники. Для их формирования необходимо использование волоконных усилителей, в которых при высокой пиковой мощности проявляются сложные нелинейные эффекты. Эти эффекты легко наблюдаются в экспериментах, однако их моделирование затруднено, поскольку математические модели часто обладают ограниченной точностью и не учитывают все экспериментальные параметры, что затрудняет предсказание эволюции импульса в режимах высокой мощности.

В данной работе предложен новый подход, основанный на применении глубоких нейронных сетей на основе архитектуры трансформер — декодер, которая в отличие от работы [1], была адаптирована к реальным экспериментальным условиям. Новизна работы заключается в использовании стратегии переноса обучения: модель была предварительно обучена на синтетических данных, полученных методом численного моделирования, а затем дообучена на ограниченном наборе экспериментальных данных. Такой комбинированный подход позволяет преодолеть проблему малого количества экспериментальной информации и существенно повысить точность предсказания.

В результате дообучения достигнуто снижение нормированной среднеквадратичной ошибки с 0.112 до 0.085 даже при полном разделении обучающей и тестовой выборок. Кроме того, нейросетевая модель показала более высокую точность воспроизведения спектров по сравнению с численным моделированием, что подтверждает эффективность предложенного метода.

Таким образом, методы глубокого обучения позволяют моделировать эволюцию импульсов в волоконных усилителях даже при наличии неопределённостей в параметрах системы и ограниченном объёме экспериментальных данных. Такие модели могут быть использованы в качестве инструмента для проектирования усилителей, обеспечивающих генерацию импульсов с заданными характеристиками.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 25-61-00010).*

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Беднякова А. Е.*

#### Список литературы

- [1] SARAEVA K., BEDNYAKOVA A. Enhanced bi-LSTM for Modeling Nonlinear Amplification Dynamics of Ultra-Short Optical Pulses // *Photonics*. 2024. Vol. 11. N. 2. Art. 126.

### 3.4. Гольяжбина Ю.Ю. Оптимизация алгоритма миграции Кирхгофа

Сейсморазведка — область, связанная с изучением геологических структур Земли на основе анализа сейсмических сигналов. Алгоритм миграции Кирхгофа, используемый для преобразования сейсмических данных в точное изображение геологических структур, является одним из ключевых инструментов в обработке данных сейсморазведки. Он характеризуется высокой вычислительной сложностью, что приводит к значительным затратам времени на обработку данных. Поиск методов оптимизации алгоритма миграции остается актуальной задачей, так как это позволяет сократить общее время этапа сейсмической обработки.

Профилирование показало, что 90% времени работы занимает основной цикл, который имеет глубину 4. Он состоит из циклов по блокам трасс, по трассам в блоке, параллельного цикла по точкам изображения, по отсчетам трассы. В связи с этим для его оптимизации были применены следующие подходы: динамическое распределение задач привело к ускорению в 3.8 раза, векторизация с использованием AVX-256 — в 2.6 раза, оптимизация доступа к памяти и замена тригонометрических функций арифметическими операциями — в 1.8 раза. К тому же исследована зависимость времени работы программы от размера обрабатываемого блока трасс. Было выдвинуто предположение: программа будет работать быстрее, если размер блока не будет превосходить размера кэша третьего уровня. Данная гипотеза не подтвердилась. Профилирование программы выявило, что время затрачиваемое на загрузку данных при кэш промахах незначительно по сравнению с общим временем загрузки данных из памяти.

Применение оптимизаций позволило достичь общего ускорения программы в 17.8 раз, при этом была сохранена точность вычислений. Работа продемонстрировала эффективность низкоуровневых инструментов оптимизации для задач с неравномерно нагруженными итерациями, а полученные результаты могут быть применены для оптимизации аналогичных алгоритмов в сейсморазведке и других научных задачах. Сама программа была успешно протестирована на двух наборах реальных сейсмических данных размерами 67.4 Мб и 5.1 Гб. Эффективность распараллеливания на 8 потоках составила 83%.

*Научный руководитель — Матвеев А. С.*

### 3.5. Гольяжбина Ю.Ю. Разработка суперкомпьютерного приложения для обработки данных поверхностного микросейсмического мониторинга на базе фреймворка ExecuCore

Поверхностный микросейсмический мониторинг — область, связанная с анализом сейсмической активности в земной коре. Обработка данных

микросейсмического мониторинга является важной задачей при изучении сейсмической активности разной природы, включая гидроразрыв пласта. Увеличение числа сейсмических датчиков при мониторинге приводит к росту объемов данных, что формирует повышенные требования к эффективной реализации алгоритмов для сохранения сроков обработки. Работа посвящена разработке суперкомпьютерного приложения для обработки данных поверхностного микросейсмического мониторинга на базе фреймворка ExecuCore [1].

В рамках исследования был проведен анализ графа обработки данных, на основе которого была построена вычислительная модель, включающая 22 операции, все они были реализованы на языке Python. Из операций было составлено несколько вычислительных сценариев, управляемых фреймворком ExecuCore, который обеспечивает автоматизацию запуска задач, управление данными на различных вычислительных системах и позволяет сохранять промежуточные результаты операций, что упрощает интерпретацию данных и повторное использование вычислительных сценариев. Вычислительные сценарии были запущены локально и на кластере НОЦ ГазпромНефть-НГУ. Исследовалась эффективность распараллеливания при разном распределении процессов на узлах. Наилучший результат при запуске на 8 процессах был достигнут при распределении каждого процесса на отдельный узел, эффективность составила 79.27%.

В ходе проведения работы было создано суперкомпьютерное приложение для обработки данных микросейсмического мониторинга, использующее вычислительную модель и фреймворк ExecuCore. Было проведено успешное тестирование приложения на синтетических и реальных данных. Реальные данные представляют набор из 2500 сейсмограм общим размером 0.5 Тб. Они содержат непрерывный мониторинг одного дня сейсмической активности нефтяного месторождения, на котором проводились работы по гидроразрыву пласта. Удалось быстро интерпретировать большой объем данных разными способами за счет сохранения промежуточных результатов, тем самым детектировать событие разрыва пласта и события возникновения трещин, через которые потенциально будет стекать нефть в скважину. Работа продемонстрировала эффективность применения теоретических методов распараллеливания к задачам микросейсмического мониторинга.

*Научный руководитель — Матвеев А. С.*

#### Список литературы

- [1] АBRУНЕВ О. Е., ГОРОДНИЧЕВ М. А., БУРЛАКОВ В. С., ИШУТИН М. А. ExecuCore Public. [Электронный ресурс]. URL: <https://gitlab.cloud.nstu.ru/hpc-services/execucore-public> (дата обращения 18.10.2025).

### 3.6. Злыгостев А.И. Расчёт показателей доступности распределённых информационных систем с мажоритарным кворумом

Требования к доступности современных информационных систем превышают параметры, достижимые для отдельных машин. Традиционной методикой повышения доступности является избыточное резервирование, или переход к распределённой архитектуре. Однако, противоречие между доступностью и согласованностью таких систем общеизвестно [1]. Разработчики информационных систем регулярно сталкиваются с задачей обеспечения наперёд заданных свойств системы. Одним из таких свойств является метрика доступности. Таким образом, актуальной является задача расчёта доступности распределённой информационной системы, состоящей из компонентов с известными свойствами. В рамках исследования взаимосвязи количественных метрик доступности и согласованности для распределённых информационных систем сформулирована задача аналитического расчёта метрики доступности распределённой системы, реализующей строгую модель согласованности. Рассмотрен вариант распределённой системы с алгоритмами консенсуса на основе мажоритарного кворума. В решении задачи использована комбинация биномиальной модели для оценки доступности кворума [2] и оценка вероятности связности случайного графа Эрлёша — Реньи [3, 4]. Значение доступности для полносвязного кластера из  $N$  узлов определяется формулой

$$A(N) = \sum_{k=m}^N \binom{N}{k} A_{\text{node}}^k (1 - A_{\text{node}})^{N-k} C(k, A_{\text{link}}),$$

где  $m = \lfloor \frac{N}{2} \rfloor + 1$ , а  $C(k, A_{\text{link}})$  — вероятность того, что случайный граф с  $k$  вершинами и вероятностью наличия каждого ребра  $A_{\text{link}}$  окажется полносвязным [4]. Эта вероятность определяется рекуррентно:

$$C(1, p) = 1, \\ C(k, p) = 1 - \sum_{s=1}^{k-1} \binom{k-1}{s-1} C(s, p) (1-p)^{s(k-s)}, k \geq 2.$$

Доступность кластера рассмотрена как функция параметров  $A_{\text{link}}$  и  $A_{\text{node}}$ . Исследована граница значений  $A_{\text{link}}$  и  $A_{\text{node}}$ , в пределах которых доступность распределённой системы выше, чем доступность её отдельных компонентов. Продemonстрирована важность доступности каналов связи между узлами кластера.

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

#### Список литературы

- [1] GILBERT S., LYNCH N. Brewer's Conjecture and the Feasibility of Consistent, Available, Partition-Tolerant Web Services // ACM SIGACT News. 2002. Vol. 33. N. 2. P. 51–59.

- [2] БАРЛОУ Р., ПРОШАН Ф. Теория надёжности систем и элементов / М.: Наука, 1984. 296 с.
- [3] COLBOURN C. J. The Combinatorics of Network Reliability / New York: Oxford University Press, 1987. 212 p.
- [4] VOLLOVÁS B. Random Graphs. 2nd ed. / Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 498 p.

### 3.7. Ильиных Т.С. Оптимизация параллельных решателей СЛАУ многосеточным итерационным методом

Многосеточный метод (multigrid) — это один из наиболее эффективных итерационных алгоритмов для решения СЛАУ, возникающих, как правило при дискретизации дифференциальных уравнений, особенно эллиптического типа. Он сочетает в себе локальные итерационные методы (такие как методы Якоби, Гаусса — Зейделя или SPAI [1, 2]) с иерархией вложенных сеток для устранения ошибок на различных пространственных масштабах. Итерационные методы эффективно подавляют высокочастотные компоненты ошибки (быстро осциллирующие), но плохо справляются с низкочастотными (гладкими) ошибками. Многосеточный метод решает эту проблему, перенося гладкие компоненты ошибки на более грубые сетки, где они лучше подавляются этими же сглаживающими методами.

Метод SPAI представляет собой подход к построению приближенной обратной матрицы для  $A$ , используемой в качестве предобуславливателя при решении СЛАУ:

$$Ax = b, \quad (1)$$

Этот метод строит явную приближенную обратную матрицу обладающую разреженной структурой, при этом структура разреженности предобуславливателя выбирается заранее или адаптивно.

В данной работе было протестировано несколько расчётных методов (Якоби, Гаусса — Зейделя и различные варианты SPAI) в многосеточном (multigrid) режиме на примере решения уравнения Пуассона. Исследовалась возможность ускорения решателей за счет использования SIMD-инструкций и их относительная эффективность по сравнению друг с другом. Решатель распараллеливался по протоколу MPI с помощью оригинальной процедуры сжатия данных перед отправкой на соседний процессор. После нахождения лучшего из рассмотренных решений, полученный решатель сравнивался с решением из популярного кода, использующего подход адаптивных структурированных сеток BASILISK. Предложенный нами подход показал существенное ускорение в однопроцессорном режиме и эта величина увеличивалась еще сильнее при переходе к многопроцессорным расчетам.

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Хребтов М. Ю.*

### Список литературы

- [1] BENZI M., TUMA M. A comparative study of sparse approximate inverse preconditioners // Applied Numerical Mathematics. 1999. Vol. 30. N. 2. P. 305–340.
- [2] BROKER O. Robust parallel smoothing for multigrid via sparse approximate inverses // SIAM Journal on Scientific Computing. 2001. Vol. 23. N. 4. P. 1396–1417.

### 3.8. Исмагилов Р.Р., Мерзлякин Б.С. Разработка модели прогнозирования дебита нефти в скважинах на основе графовой нейронной сети

Оценка дебита нефти в скважинах является одной из ключевых задач при планировании и оптимизации разработки месторождений. В настоящее время подобные задачи решаются с применением гидродинамического моделирования, статистических подходов и методов машинного обучения. В рамках данной работы мы предлагаем проводить прогноз дебита нефти в скважинах по историческим данным о месторождении на основе графовой нейронной сети.

Для обучения и тестирования сети мы используем искусственную модель нефтяного месторождения Brugge [1]. Из этой модели были получены данные для 30 скважин (20 добывающих и 10 нагнетательных) с января 2009 года по декабрь 2018 с интервалом 1 месяц (120 временных шагов). Данные месторождения были представлены в виде взвешенного пространственно-временного графа, вершины которого описывают следующие свойства скважин: забойное давление, среднее пластовое давление, обводненность, дебит нефти и инъеक्टивность воды. Дебит и инъеक्टивность были выражены в качестве одного целевого параметра, равного положительному значению дебита и отрицательному значению инъеक्टивности. Вес ребёр графа равен числу, обратному евклидовому расстоянию между соответствующими скважинами.

В качестве модели прогнозирования была разработана нейронная сеть, состоящая из блока обработки пространственных данных на основе архитектуры Graph Attention Network [2] и блока обработки временных данных на основе архитектуры Transformer [3]. Модель принимает на вход граф-структурированные данные о месторождении за  $k$  временных шагов и значение забойного давления для  $k + 1$  временного шага. На выходе получаем прогнозное значение дебита нефти или инъеक्टивности воды для следующего временного шага. Для обучения были взяты данные по 84 временным меткам (70% выборки), для валидации — по 36 меткам (30% выборки). В качестве функции потерь был взят средний квадрат ошибки (MSE). Эксперименты были проведены для числа временных шагов  $k = \{3, 5, 10\}$ , используемых для получения прогноза на следующий день.

Лучшее значение метрики средней абсолютной

ошибки (MAE) было получено для 10 учётных временных шагов и составило 0.11 на валидационной выборке.

#### Список литературы

- [1] PETERS E. Results of the Brugge benchmark study for flooding optimization and history matching // SPE Reservoir Evaluation & Engineering. 2010. Vol. 13. N. 3. P. 391–405.
- [2] SHI Y. Masked label prediction: Unified message passing model for semi-supervised classification // Proc. Thirtieth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-21). Montreal: International Joint Conferences on Artificial Intelligence, 2021. P. 1548–1554.
- [3] VASWANI A., SHAZEER N., PARMAR N. ET AL. Attention is all you need // Advances in neural information processing systems. 2017. Vol. 30.

### 3.9. Каграманян Д.Г. Генерация правдоподобных снимков микроструктур композитного сплава WC/Co при помощи нейронных сетей

Исследование статистических свойств микроструктур композитных материалов проводится путем анализа микрофотографий срезов материала. Часто анализ снимков может быть ограничен из-за малого размера выборки снимков. В работе исследуется возможность создания искусственных микроструктур с помощью генеративных нейронных сетей: диффузионная сеть [1] и GAN [2]. Мы хотим ответить на вопрос, можно ли при помощи генеративных сетей усиливать статистические свойства исходных данных. Критерием правдоподобности является сравнение соответствующих распределений для реальных и искусственных микроструктур.

Мы обучили 2 сети на 500 микроснимках микроструктур WC/Co с разрешением  $1536 \times 1536$  пикселей. Первая — диффузионная сеть, задача которой на базе зашумленного изображения вернуть менее зашумленное при помощи шага обратной диффузии, описанного в формуле

$$p_{\theta}(x_{t-1}|x_t) = N(x_{t-1}; \mu_{\theta}(x_t, t), \Sigma_{\theta}(x_t, t)),$$

где  $p_{\theta}$  — диффузионная сеть,  $x_t$  — зашумленное изображение на шаге  $t$ .

Вторая сеть — генеративно-сопоставительная сеть GAN, состоящая из двух сетей: генератора и дискриминатора. Задача дискриминатора  $D(\cdot)$  — максимизировать функцию потерь

$$\min_G \max_D V(D, G) = E_{x \sim p_{\text{data}}(x)} [\log D(x)] + E_{z \sim p_z(z)} [\log(1 - D(G(z)))]$$

путем классификации настоящих и сгенерированных снимков, задача генератора  $G(\cdot)$  минимизировать функцию потерь путем генерации правдоподобных снимков и «обмана» дискриминатора.

При помощи каждой сети мы сгенерировали по 500 снимков разного разрешения и оценили их правдоподобность при помощи метрики Вассерштейна [3] и распределения внутренних углов регионов кобальта, полученных ранее в нашей работе [4]. Анализ метрик показал, что генеративные сети способны усиливать статистику из обучающей выборки.

Актуальность нашего решения основана на том, что в материаловедении трудно создать большой объем выборки для анализа: создание большого количества снимков требует много ресурсов. Научная новизна работы заключается в анализе применимости генеративных нейронных сетей в материаловедении, где методы машинного обучения применяются редко.

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Щур Л.Н.*

#### Список литературы

- [1] SOHL-DICKSTEIN J., WEISS E. A., MAHESWARANATHAN N., GANGULI S. Deep unsupervised learning using nonequilibrium thermodynamics // arXiv preprint arXiv:1503.03585v8. 2015.
- [2] HUANG Y., GOKASLAN A., KULESHOV V., TOMPKIN J. The GAN is dead; long live the GAN! A Modern GAN Baseline // arXiv preprint arXiv:2501.05441. 2025.
- [3] VILLANI C. The Wasserstein distances // Springer Berlin Heidelberg. 2009. Vol. 93.
- [4] STRAUMAL B. B., SHCHUR L. N., KAGRAMANYAN D. G. ET AL. Topology of WC/Co Interfaces in Cemented Carbides // Materials. 2023. Vol. 16. N. 16. Art. 5560.

### 3.10. Карабцов Б.А. Подавление численной дисперсии в двумерном уравнении адвекции с помощью гибридного подхода на основе машинного обучения

Численное решение уравнения адвекции с точечными источниками сопряжено с возникновением значительных численных артефактов — нефизических осцилляций и размывания фронтов. Эти артефакты, являющиеся проявлением численной дисперсии и диффузии, особенно критичны в задачах моделирования переноса примесей от локальных выбросов. Классическим способом борьбы с ними является увеличение разрешения расчетной сетки, однако этот путь приводит к непропорционально большому росту вычислительных затрат.

В данной работе проведено систематическое исследование возможностей гибридного подхода, при котором решение, полученное на быстрой разностной схеме на грубой сетке, корректируется нейронной сетью. Были рассмотрены входные данные в виде двумерного массива (конечное поле концентрации) и трехмерного массива, содержащего временную историю решения. Для решения проблемы использовались сверточные архитектуры (автоэнкодеры, U-Net) и нейронные операторы.

Обучение моделей проводилось на синтетических данных. На этапе обучения использовались задачи с постоянным полем скоростей переноса. Это позволило использовать в качестве целевых данных точные аналитические решения, что исключило влияние численных погрешностей на этапе обучения. Полученные модели были опробованы для решения задач с переменным полем скоростей переноса, что было основным критерием успешности модели.

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Пененко А. В.*

### **3.11. Квас А.Т., Назаров Н.А. Внедрение методов искусственного интеллекта для анализа PIV экспериментов**

Развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) предоставляет новые варианты решения сложных задач экспериментальной физики. Одной из таких задач является метод PIV (Particle Image Velocimetry или трассерная анемометрия по изображениям частиц). Метод PIV широко применяется при оптической диагностике скорости гидродинамических потоков как в научных исследованиях, так и в различных областях промышленности. Он основан на вычислении перемещения групп специальных трассеров на последовательных изображениях потока жидкости или газа посредством корреляционного анализа [1].

PIV эксперименты зачастую требуют анализа большого количества видеоданных для определения статистических характеристик потока, поэтому для ускорения анализа и повышения качества выходной информации в этой области активно применяются нейронные сети.

Одним из недостатков классического корреляционного подхода к обработке PIV экспериментов является малое пространственное разрешение, которое ограничено окном поиска трассеров и составляет порядка 1 вектор на  $32 \times 32$  пикселя. Алгоритмы на основе нейронных сетей, с другой стороны, способны решить данную проблему, получая 1 вектор скорости на 1 пиксель изображения.

На сегодняшний день большая часть работ в данной области связана с тренировкой и оценкой нейросетевых алгоритмов на синтетических данных, довольно мало внимания уделяется валидации на реальных экспериментах. В работе было проделано воссоздание архитектуры и проведен классический цикл обучения на синтетических данных одной из новейших нейросетевых моделей RAFT [2]. В связи с невозможностью определения больших смещений при помощи модели, дополнительно был реализован алгоритм компенсации смещения частиц при помощи оценки смещений корреляционным методом нулевого порядка. Проведено сравнение результатов работы модели с результатами итеративного корреляционного алгоритма на реальных экспериментальных данных с числами Рейнольдса ( $Re$ ) в диапазоне от 3000 до 120000. При анализе метрик

было выявлено, что модель сильнее ошибается в области переходных чисел  $Re$ , однако более стабильна в области низких и турбулентных значений числа  $Re$ . Несмотря на то, что расхождение корреляционного и нейросетевого метода выше стандартной принятой ошибки корреляционного метода в размере 0.1 пикс, с учетом предобработки модель выдает достаточно точно предсказанные векторные поля с относительной ошибкой в среднем 7.9%.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания ИТ СО РАН № 121031800217-8.*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Терехов В. В.*

#### **Список литературы**

- [1] ТОКАРЕВ М.П., МАРКОВИЧ Д.М., БИЛЬСКИЙ А.В. Адаптивные алгоритмы обработки изображений частиц для расчета мгновенных полей скорости // Вычислительные технологии. 2007. Т. 12. № 3. С. 109–131.
- [2] TEED Z., DENG J. RAFT: Recurrent all-pairs field transforms for optical flow // Proc. Intern. Conf. «Computer Vision — ECCV 2020». Springer, 2020. P. 402–419.

### **3.12. Котлер В.Д., Платонова М.В. Информационно-вычислительная система для оценки эмиссии парниковых газов по спутниковым данным**

При моделировании природных процессов и характеристик окружающей среды необходимо использовать комплексный подход. В числе приоритетных направлений выделяется определение экологического состояния на основе анализа данных наблюдений, что достигается с помощью применения алгоритмов усвоения данных. Под усвоением данных принято понимать совместный учет данных наблюдений и математической модели для наиболее точной оценки пространственно-временного распределения исследуемых величин [1]. Данные алгоритмы обеспечивают объединение материалов измерений и численного моделирования с целью формирования оптимальной пространственно-распределённой временной картины изучаемых параметров. Особую значимость в настоящее время приобретает исследование потоков парниковых газов, включая метан и углекислый газ, поступающих с земной поверхности в атмосферу.

Современные системы усвоения данных отличаются высокой вычислительной сложностью и требуют масштабируемой архитектуры [2]. Практическая реализация указанных задач требует создания специализированной информационно-вычислительной системы (ИВС) [3], обладающей функциональными возможностями по сбору, хранению, обработке, анализу и графическому представлению больших объемов разнородной информации — от данных спутниковой съемки до выходных данных моделирования. Разработка ИВС предполагает формирование информационной модели, охватывающей как функ-

циональные, так и архитектурные элементы системы. В настоящей работе приводится описание такой модели, сформированной на основе применения методологии структурного анализа, в том числе декомпозиции процессов, диаграмм потоков данных и других инструментов.

Разработанная ИВС представляет собой набор программных инструментов, предназначенный для оценки потоков парниковых газов с поверхности Земли. Архитектура ИВС построена по модульному принципу и охватывает все этапы обработки данных — от их сбора и предобработки до моделирования, усвоения данных и визуализации результатов. В рамках ИВС реализованы вычислительные алгоритмы, поддерживающие ансамблевые методы усвоения данных, включая алгоритмы, основанные на ансамблевом фильтре Калмана. Разработанная архитектура системы позволяет обеспечить высокую скорость работы, масштабируемость, отказоустойчивость, а также возможность дальнейшего наращивания функционала. Реализован прототип ИВС, развернутый на вычислительном кластере с интеграцией химико-транспортной модели MOZART-4 и спутниковых данных AIRS [4].

В работе представлена концепция и архитектура ИВС для оценки эмиссии парниковых газов с использованием спутниковых данных. Разработана структурная схема системы, описаны её ключевые модули и их функциональные назначения.

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Климова Е. Г.*

#### **Список литературы**

- [1] NAKAMURA G., POTTHAST R. Inverse Modeling: An Introduction to the Theory and Methods of Inverse Problems and Data Assimilation / IOP Publishing, 2015. 312 p.
- [2] Климова Е. Г. Экономичный алгоритм стохастического ансамблевого сглаживания // Сибирский журнал вычислительной математики. 2020. Т. 23. № 4. С. 381–390.
- [3] Котлер В. Д., Платонова М. В., Климова Е. Г. Структура информационно-вычислительной системы для решения задачи усвоения данных при моделировании окружающей среды // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2024. Т. 22. № 1. С. 21–30.
- [4] KLIMOVA E. G. Methods of estimation of greenhouse gases concentration in the atmosphere using observations and transport and diffusion model, based on the ensemble Kalman filter // All-Russian Conference «Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes, SDM 2017». Novosibirsk, 2017. Vol. 2033. P. 191–195.

### **3.13. Ликсонова Д.И., Ченцов С.В. Непараметрические алгоритмы идентификации и управления многомерными системами со стохастическими связями и неполной априорной информацией**

Исследуются методы моделирования и управле-

ния многомерными дискретно-непрерывными процессами с запаздыванием при неполных данных [1]. Объектом исследования выступают сложные системы со смешанной динамикой, характеризующиеся наличием запаздываний, стохастических взаимосвязей входных и выходных переменных и гибридным характером функционирования, который объясняется тем, что процессы протекают непрерывно во времени, но контроль и управление их переменными осуществляются лишь в дискретные моменты времени [2]. Таких систем достаточно много на практике, например, в энергетике — процесс горения угля или в стройиндустрии — процесс производства цемента.

Ключевой аспект, рассматриваемый в работе, заключается в непараметрической неопределенности, когда общепринятые параметрические модели оказываются неприменимыми или неэффективными [3]. Это особенно актуально для многомерных систем, где между компонентами входных и выходных векторов могут существовать сложные стохастические взаимосвязи, что приводит к необходимости их математического описания через системы неявных стохастических уравнений.

Основной особенностью рассматриваемого класса систем является неоднородность априорной информации по различным каналам. На практике это означает, что для одних каналов точная параметрическая модель может быть известна, в то время как для других — доступны лишь качественные свойства или экспериментальные данные. Подобные системы требуют принципиально иного подхода, а именно сочетания параметрических и непараметрических алгоритмов в рамках единой структуры управления.

В связи с этим, центральное место в работе отводится разработке и обоснованию адаптивных непараметрических алгоритмов, которые составляют ядро предлагаемой методики. Эти алгоритмы представлены в виде последовательных «цепочек», способных гибко интегрировать разнородную информацию.

Так как рассматриваемая многомерная система имеет стохастические зависимости входных и выходных переменных, выбирать произвольно задающие воздействия для такой системы не представляется возможным. А это в свою очередь может привести к наличию трубчатых структур, свойства которых по разным каналам будут различаться.

Наибольший акцент сделан на адаптации алгоритмов в режиме активного накопления данных, что соответствует реальным условиям эксплуатации, когда информация поступает последовательно во времени. Такой подход позволяет непрерывно «доучивать» систему идентификации и управления, уточняя и расширяя исходную обучающую выборку данными, которые не были учтены на этапе перво-

начальной настройки [4]. Это преобразует систему в адаптивную, способную к самонастройке.

Таким образом, результаты работы представляют собой практический инструментарий для построения робастных систем управления сложными многомерными объектами. Предлагаемые решения особенно востребованы в случаях, когда стандартные параметрические методы неприменимы из-за недостатка априорных сведений о природе стохастических связей и динамики системы в целом.

#### Список литературы

- [1] Лапко А. В. Непараметрические системы обработки информации и принятия решений / Красноярск: СибГАУ, 2014. 382 с.
- [2] МЕДВЕДЕВ А. В. Основы теории непараметрических систем / Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т, 2018. 727 с.
- [3] Кошкин Г. М., Пивен И. Г. Непараметрическая идентификация стохастических объектов / Хабаровск: РАН Дальневосточное отделение, 2009. 336 с.
- [4] Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Москва: Наука, 1968. 399 с.

### 3.14. Ляховский М.В. Оптимизация матрицы весов MPC для управления четвероногим роботом

В данном исследовании анализируется зависимость поведения четвероногого робота от матрицы весов  $Q$  модельно-предиктивного регулятора (Model Predictive Control — MPC). Регулятор оптимизирует силы для ног в контакте с землей, используя линейную модель абсолютно твердого тела, таким образом, чтобы значение заданной целевой функции было минимально:

$$\begin{aligned} \min_{x, u_0, \dots, u_{K-1}} \quad & \sum_{k=0}^{K-1} \left( \|x(k+1) - x_{\text{ref}}(k+1)\|_Q^2 + \right. \\ & \left. \|u(k)\|_R^2 \right) \\ \text{subject to} \quad & x(k+1) = A_k x(k) + B_k u(k), \\ & W u(k) \leq b. \end{aligned}$$

где  $Q \succeq 0$  и  $R \succeq 0$  матрицы весов для ошибки по состоянию  $x$  и управлению  $u$ , соответственно,  $A$  и  $B$  матрицы линейной модели робота,  $W$  и  $b$  ограничение на конус трения и выбор ног в контакте.

Обучение нейронной сети для генерации оптимальных матриц  $Q$  позволило повысить эффективность отслеживания траектории при различных заданных скоростях. Моделирование выполнено в среде RaiSim, а полносвязная нейронная сеть (FCNN) реализована на Python.

Сформирован набор данных из 45 000 траекторий длительностью 2 с. Диагональные элементы матрицы  $Q$  генерировались случайным образом в диапазоне  $[0.1, 100]$ . Заданные скорости выбирались в пределах  $\pm 0.7$  м/с по оси  $x$  и  $\pm 0.6$  м/с по оси  $y$ . Все тра-

ектории начинались и заканчивались в начале фазы ходьбы для стандартизации условий.

Эффективность отслеживания оценивалась по нормам ошибок состояния робота. Для каждой траектории вычислялись индивидуальные и средняя нормы ошибок, формируя пары «вход-выход»: вход — скорости  $XU$  и элементы  $Q$ , выход — нормы ошибок.

Нейронная сеть обучалась на сформированном наборе данных для прогнозирования норм ошибок по заданным скоростям и матрице  $Q$ , выявляя зависимости без дополнительного моделирования.

Пространство скоростей  $XU$  дискретизировано в виде сетки узлов. Для каждого узла определялась траектория с минимальной нормой ошибок и соответствующая матрица  $Q$ , формируя базовый уровень для оптимизации.

Целью оптимизации являлось повышение точности работы MPC регулятора за счет улучшенной настройки матрицы весов для ошибки по состоянию  $x$ . С использованием FCNN матрица  $Q$  оптимизировалась для каждого узла скорости методом обратного распространения, минимизируя разницу между прогнозируемыми и целевыми нормами ошибок.

Моделирование траекторий с оптимизированными матрицами  $Q$  продемонстрировало повышение эффективности работы контроллера с использованием прогнозов FCNN. Сравнение с эталонной матрицей  $Q$  показало снижение суммарной нормы ошибки на 14–45% для скоростей  $V_x = 0.7$  м/с,  $V_y = 0$  м/с и  $V_x = 0$  м/с,  $V_y = 0.2$  м/с.

Разработанный алгоритм, использующий FCNN и оптимизацию  $Q$ , значительно улучшает эффективность отслеживания траектории. Снижение ошибок на 14–45% демонстрирует потенциал адаптивных методов управления для робототехники.

*Научный руководитель — к.т.н. Базылев Д. Н.*

#### Список литературы

- [1] DI CARLO J., WENSING P., KATZ B. ET AL. Dynamic Locomotion in the MIT Cheetah 3 Through Convex Model-Predictive Control // Proc. IEEE/RSJ Intern. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2018. P. 1–9.
- [2] BLEDT G., WENSING P. M., KIM S. Policy-regularized model predictive control to stabilize diverse quadrupedal gaits for the MIT cheetah // Proc. IEEE/RSJ Intern. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2017. P. 4102–4109.

### 3.15. Неверов А.В. Комбинированный алгоритм численного решения систем дифференциальных уравнений с применением физически информированных нейронных сетей

В работе рассматривается комбинация классических конечно-разностных и коллокационных подходов как основ и физически информированных нейронных сетей (PINN) как уточняющих алгоритмов

для решения дифференциальных уравнений.

Так как применение PINN для решения дифференциальных уравнений затрудняется тем, что оптимизируемый целевой функционал нейронной сети является невыпуклым, с большим числом локальных минимумов, то качество находимого решения сильно зависит от начального приближения. В качестве начального приближения предлагается использовать решения, полученные при помощи конечно-разностных схем и метода коллокаций, т. е. рассматривается подход уточнения решения, полученного конечно-разностным методом, при помощи физической информированной нейронной сети [1].

В качестве иллюстративных примеров предлагаются классические постановки с известными аналитическими решениями:

1. Уравнение Пуассона.
2. Уравнение переноса.
3. Системы ОДУ.

Для демонстрации работоспособности алгоритма в более сложных задачах рассматривается постановка модели игры среднего поля, представляющую собой систему двух уравнений конвекции-диффузии, начальные условия которых поставлены в начальный и терминальный моменты времени [2].

Получены оценки точности получаемого решения до и после уточнения, вычислительное время и сравнение его с временем, требуемым для достижения такой же точности без уточнения.

*Результаты получены при финансовой поддержке проекта, реализуемого в рамках государственной программы федеральной территории «Сириус»: проект «Научно-технологическое развитие федеральной территории «Сириус»» (Соглашение № 26-03 от 07.07.2025 г.).*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Криворотько О. И.*

#### Список литературы

- [1] RAISSI M., PERDIKARIS P., KARNIADAKIS G. E. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations // Journal of Computational Physics. 2019. Vol. 378. N. 1. P. 686–707.
- [2] LASRY J.-M., LIONS P.-L. Mean field games // Japanese Journal of Mathematics. 2007. Vol. 2. N. 1. P. 229–260.

### 3.16. Патрин Г.А. Повышение эффективности солитонной волоконно-оптической линии связи путём приближённой компенсации нелинейных искажений сигнала

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) в настоящее время являются наиболее востребованным способом передачи данных, эта технология лидирует на рынке телекоммуникаций [1]. Однако, несмотря на высокий уровень её развития в настоящее

время, из-за стремительных темпов роста объёма мирового трафика линии связи требуют дальнейшего увеличения пропускной способности. Известно, что солитонные импульсы, являющиеся когерентной устойчивой структурой, слабо подвержены нелинейным искажениям [2], что особенно актуально для передачи данных на большие расстояния, где требуется высокая мощность сигнала. Данное исследование посвящено разработке и анализу эффективности квазианалитического алгоритма компенсации оптических искажений фазы в солитонной линии связи для повышения её пропускной способности.

Динамику излучения в виде медленно меняющейся огибающей волнового пакета в пассивной среде линии связи можно описать с помощью неконсервативного нелинейного уравнения Шрёдингера (НУШ) [2]. Предложенный алгоритм компенсации нелинейных искажений сигнала построен на основе разработанного приближённого решения неконсервативного НУШ в форме гиперболического секанса. Применение такого квазианалитического подхода впервые позволило перейти от фазовой модуляции солитонных импульсов к амплитудно-фазовой, что способствовало увеличению пропускной способности линии связи. Прямое численное моделирование методом расщепления по физическим процессам (SSFM — Split-Step Fourier Method) показало применимость предложенного подхода и прирост скорости передачи информации при его использовании в зашумлённом канале ВОЛС.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 25-61-00010).*

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Чеховской И. С.*

#### Список литературы

- [1] RICHARDSON D. J. Filling the Light Pipe // Science. 2010. Vol. 330. N. 6002. P. 327–328.
- [2] AGRAWAL G. P. Nonlinear Fiber Optics / Academic Press, 2006. 529 p.

### 3.17. Ревун А.Л., Рудин С.А., Павский К.В. Алгоритм термического отжига без блокировок в атомистическом моделировании гетероэпитаксии методом Монте-Карло на вычислительных системах

Основной проблемой при моделировании эпитаксиального роста квантовых точек является учет деформации, возникающей из-за несовпадения постоянных решеток осаждаемого материала и материала подложки, требующий значительных временных затрат на её расчет. Разработанная ранее атомистическая трехмерная Монте-Карло (МК) модель гетероэпитаксиального роста [1] учитывает распределение деформации в моделируемой системе и подходит для распараллеливания вычислений.

Моделирование процесса гетероэпитаксии состоит из двух блоков: Шаг МК и Термический от-

жиг. Блок «Термический отжиг» занимает примерно 50% общего времени моделирования [2]. При реализации параллельной версии «Термический отжиг» возникла классическая проблема «гонки данных»: если два потока одновременно модифицируют смещения атомов, локальная энергия вычисляется на основе несогласованного состояния системы. Подобное поведение приводит к физически некорректным результатам моделирования.

Для решения подобной проблемы обычно применяют примитивы синхронизации: критических секций, мьютексов или атомарных операций. Был проведен сравнительный анализ этих подходов, который показал, что примитивы синхронизации гарантируют корректность, их накладные расходы (особенно из-за частых конфликтов при работе с плотно связанными данными) сводят на нет преимущества распараллеливания.

В работе представлен параллельный алгоритм блока «Термический отжиг» без блокировок. Такой подход позволил избежать накладных расходов, связанных с синхронизацией, при этом обеспечил физическую корректность результата и сократил время моделирования.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (ГЗ № FWGW-2025-0023).*

#### Список литературы

- [1] Novikov P. L. Simulating the nucleation and growth of Ge quantum dots on Si using high-efficiency algorithms // *Nanotechnologies Russ.* 2015. Vol. 10. N. 3–4. P. 192–204.
- [2] Рудин С. А., Павский К. В., Ревун А. Л., Двуреченский А. В. Моделирование гетероэпитаксиального роста Ge на структурированной подложке Si(100) методом Монте-Карло и распараллеливание вычислений // *Вестник СибГУТИ.* 2024. Т. 18. № 1 (60). С. 16–28.

### 3.18. Суховерхова Д. Д. Использование машинного обучения для исследования фазовых переходов первого рода

Мы решали задачу тернарной классификации образцов модели Поттса. В литературе классическими методами исследование этой модели является метод ренормализационной группы [1], метод трансферматриц [2], численные методы Монте-Карло [3]. Однако применимость новых методов глубокого обучения до сих пор находится в стадии развития.

Мы использовали метод популяционного отжига [4, 5] для генерации некоррелированных образцов — двумерных решёток, в узлах которых расположены спины  $s_i \in \{1, 2, \dots, q\}$ .

Гамильтониан модели Поттса [6]:

$$H = - \sum_{\langle i, j \rangle} \delta_{s_i, s_j}.$$

Сгенерированные образцы (мгновенные снимки системы) использовались для обучения свёрточной нейронной сети. Каждому образцу соответствует энергия, и при каждой заданной энергии мы генерируем 8192 снимка, которые делим в соотношении 3 : 1: 6144 изображения составляют обучающую выборку, 2048 — тестовую выборку.

В пространстве энергий модель Поттса испытывает фазовый переход первого рода при  $q \geq 5$  [7]: известны энергия упорядоченной  $e_o$  и неупорядоченной  $e_d$  фаз. Если энергия образца  $e$  меньше  $e_o$ , то система находится в упорядоченной фазе. Аналогично, если  $e_o < e < e_d$ , то фаза смешанная, а при  $e > e_d$  — неупорядоченная. В соответствии с этими правилами мы разметили наборы данных и обучили сеть классифицировать образцы по трём фазам.

Полученные от классификатора предсказания  $p_{xS}^i(e)$  мы усредняли по каждой энергии, чтобы получить вероятность каждого образца находиться в упорядоченной ( $P_{OS}(e)$ ), смешанной ( $P_{CS}(e)$ ) или неупорядоченной ( $P_{DS}(e)$ ) фазе:

$$P_{xS}(e) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_{xS}^i(e).$$

Мы оценили критические значения  $e_o$  и  $e_d$ , взяв за оценки точки пересечения функций  $P_{OS}$  и  $P_{CS}$  и  $P_{CS}$  и  $P_{DS}$ , соответственно. Исходя из этих оценок, мы получили оценку латентного тепла:  $\mathcal{L} = e_d - e_o$ .

Также мы считали вариацию в каждой энергетической точке:

$$V_{xS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [p_{xS}^i(e)]^2 - \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_{xS}^i(e) \right]^2.$$

Функция вариации имеет пик в окрестности критической энергии,  $V_{CS}$  имеет два максимума в окрестностях  $e_o$  и  $e_d$ . Мы фитировали полученные функции Гауссовым распределением, чтобы получить ширину  $\sigma$  каждого пика. Оказалось, что  $\sigma$  зависит от линейного размера системы  $L$  обратно пропорционально  $1/L^2$ .

Изучение переходов первого рода в пространстве энергий с использованием машинного обучения ранее не было обнаружено авторами в литературе, чем и обуславливается актуальность и научная новизна представленной работы.

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Щур Л. Н.*

#### Список литературы

- [1] GOLNER G. R. Investigation of the potts model using renormalization-group techniques // *Physical Review B.* 1973. Vol. 8. N. 7. P. 3419.
- [2] JONES V. F. R. The Potts model and the symmetric group // *Subfactors (Kyuzeso, 1993).* 1994. P. 259–267.
- [3] TANG S., LANDAU D. P. Monte Carlo study of dynamic universality in two-dimensional Potts models // *Physical Review B.* 1987. Vol. 36. N. 1. P. 567.

- [4] ROSE N., MACHTA J. Equilibrium microcanonical annealing for first-order phase transitions // *Physical Review E*. 2019. Vol. 100. N. 6. Art. 063304.
- [5] MOZOLENKO V., SHCHUR L. Blume-Capel model analysis with a microcanonical population annealing method // *Physical Review E*. 2024. Vol. 109. N. 4. Art. 045306.
- [6] POTTS R. B. Some generalized order-disorder transformations // *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. 1952. Vol. 48. N. 1. P. 106–109.
- [7] BAXTER R. J. Exactly solved models in statistical mechanics / London: Academic Press, 1982.

## 4. Информационные технологии

### 4.1. *Альгашев Г.А., Горбунов Е.В., Кузина В.К.* **Генерация синтетических датасетов на основе 3D-моделей для задачи автоматического определения ключевых точек объектов**

Задачи автоматического определения ключевых точек занимают центральное место в современном компьютерном зрении. Они востребованы в промышленности, робототехнике, при решении задач контроля сборки, позиционирования и метрологии. Основная трудность таких задач связана не с самим обучением модели, а с подготовкой большого количества размеченных данных: разметка ключевых точек — процесс трудоёмкий и чувствительный к ошибкам оператора [1–3].

В нашей работе мы предложили метод, который позволяет устранить эту проблему за счёт синтетической генерации данных на основе 3D-моделей объектов. Суть подхода состоит в том, что мы не собираем фотодатасет в реальных условиях и не размечаем его вручную, а используем имеющиеся CAD-модели и автоматически формируем на их основе готовый датасет.

Ключевым элементом является автоматический выбор точек, представляющих интерес с геометрической точки зрения. С помощью библиотеки VTK производится анализ поверхности модели, выделяются угловые и криволинейные особенности [4]. Эти точки проходят этап экспертной фильтрации, что позволяет исключить избыточные данные и оставить только релевантные для задачи. Далее формируется сцена, где модель визуализируется под множеством ракурсов. Мы сознательно исключили такие визуальные эффекты, как тени, чтобы обучаемая модель не опиралась на вторичные признаки, а училась именно по форме объекта.

В результате получается набор изображений, сопровождаемый координатами ключевых точек, сохранёнными в формате СОСО. Такой формат обеспечивает совместимость с современными фреймворками глубокого обучения и позволяет сразу приступить к обучению модели.

Для проверки метода был сформирован датасет объёмом около пяти тысяч изображений. На нём мы обучили модифицированную версию YOLOv8, снабжённую дополнительной головой для регрессии ключевых точек [5]. Полученные результаты показали устойчивое снижение функции потерь, отсутствие переобучения и высокие значения метрик: точность и полнота превысили 0.95, а mAP50 составил около 0.9. Примечательно, что модель, обученная на синтетических данных, демонстрировала уверенное поведение и на реальных фотографиях, что подтверждает её обобщающую способность.

Преимущество предложенного подхода заключа-

ется в возможности масштабируемой и воспроизводимой генерации данных, практически не требующей ручного труда. Мы получили инструмент, позволяющий быстро расширять обучающие выборки, подстраивать их под конкретные задачи и контролировать распределение данных. Вместе с тем, метод имеет ограничения: на текущем этапе остаются трудности с моделями, имеющими прозрачные или зеркальные поверхности, а также с ситуациями перекрытия нескольких объектов.

В дальнейшем мы планируем расширить методику, добавив поддержку мультиобъектных сцен и исследуя влияние количества и расположения ключевых точек на качество обучения.

#### Список литературы

- [1] MISHRA A. K., NAIR A. S., AVEDILLO M. J. ET AL. SIFT-ONN: SIFT Feature Detection Algorithm Employing ONNs for Edge Detection // Proc. Intern. Conf. «2023 Annual Neuro-Inspired Computational Elements Conference (NICE '23)». New York: Association for Computing Machinery, 2023. P. 100–107.
- [2] BULBUL M. F., BADSHA F., ISLAM R. Object Detection by Point Feature Matching using Matlab // European Journal of Applied Sciences. 2019. Vol. 6. N. 6. P. 22–27.
- [3] ZHANG Y., WANG L., LI H. ET AL. An improved Harris corner detection method for honeycomb structures // AIP Advances. 2023. Vol. 13. N. 4. Art. 045028.
- [4] SCHROEDER W., MARTIN K., LORENSEN B. The Visualization Toolkit / Clifton Park, NY: Kitware, 2006. 370 p.
- [5] MARTÍNEZ-GONZÁLEZ J. R., RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ A., CAÑAS J. M. Shape binary patterns: an efficient local descriptor and keypoint detector for point clouds // Multimedia Tools and Applications. 2022. Vol. 81. N. 3. P. 3577–3601.

#### 4.2. Ануфриев М.В. Средства анализа предметной области при построении информационной системы управления ресурсами при разрешении проблемных ситуаций

Многие современные задачи управления требуют построения информационных систем, поддерживающих определённые алгоритмы управления. Для построения подобных систем важно правильно определить объекты и субъекты управления, перечень решаемых задач, последовательность выполняемых системой действий. Построение информационной системы начинается с анализа предметной области. От правильности проведённого анализа зависит весь ход дальнейшего проектирования, поэтому важно выбрать адекватные средства проектирования, позволяющие отразить особенности функционирования объекта управления.

Предметом представляемого исследования является коллегиальное разрешение проблемных ситуаций акторов, для чего предлагается использо-

вать субъектно-ориентированный подход, реализованный в СППР [1–4]. Нерешённым до сих пор вопросом является задача управления ресурсами группы акторов, которые они готовы вложить в разрешение общей для них проблемы.

Для моделирования процесса разрешения проблемной ситуации было выбрано средство построения диаграмм IDEF0. Была построена диаграмма верхнего уровня и проведена последующая её декомпозиция. Для управления ресурсами были определённые следующие элементы диаграммы.

В качестве входных потоков представлены ресурсы акторов  $R_{ij}$ , где  $i$  — это номер актора в группе, а  $j$  — вид ресурса, который актор желает вложить в разрешение ситуации. Потоки управления указывают, как необходимо строить СППР, определяют правила и стандарты, которым необходимо следовать. Поэтому в качестве потоков управления в блок управления ресурсами входят правила построения СППР, стандарты моделирования, правила разрешения проблемных ситуаций с помощью субъектно-ориентированного подхода. Со стороны потоков механизма располагаются:

- аналитик — человек, который анализирует предметную область;
- специалист по управлению — человек, который должен направлять и объяснять принципы управления ресурсами, заложенные в субъектно-ориентированном подходе;
- программист — разработчик, с которым необходимо советоваться для дальнейшей реализации алгоритма в виде программного кода;
- акторы — люди, оказавшиеся в проблемной ситуации, которым необходимо решить задачу управления ресурсами.

Выходом является результат решения задачи распределения ресурсов. Научная новизна разработки заключается в том, что ранее СППР, работающие в соответствии с алгоритмом субъектно-ориентированного разрешения проблемных ситуаций акторов, не проектировались, и задача управления ресурсами акторов не решалась.

*Научный руководитель — д.т.н. Моисеева Т.В.*

#### Список литературы

- [1] VITKIN V. A. Introduction to the theory of intersubjective management // Group Decision and Negotiation. 2015. Vol. 24. N. 1. P. 67–95.
- [2] МОИСЕЕВА Т. В. Методологические основы поддержки принятия решений по управлению инновационным развитием социотехнических объектов на основе интересубъективного подхода // Системная инженерия и информационные технологии. 2023. Т. 5. № 2 (11). С. 66–95.
- [3] МОИСЕЕВА Т. В. Управление знаниями при интересубъективном управлении инновационным развитием социотехнических объектов // Вестник Самар-

ского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2018. № 3 (59). С. 41–55.

- [4] Зайцева Н.Ю., Моисеева Т.В., Мятишкин Ю.В. Система поддержки принятия решений при субъектно-ориентированном управлении социально-экономическими системами // Тр. X Междунар. науч. конф. «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (памяти проф. Н.И. Юсуповой) ITIDS'2024». Уфа, 2024. С. 260–267.

#### 4.3. Астахов А.М. Разработка автоматизированной системы взаимодействия складов предприятия при обслуживании оборудования

Современные тенденции развития цифровых технологий и автоматизации производственных процессов влияют и на область складского управления [1]. Новые подходы позволяют не только вводить цифровизацию данных о складских запасах, но и оптимизировать процессы инвентаризации. В этом контексте развивается концепция «коммуницирующих объектов», основанная на использовании автоматизированных систем для мониторинга и контроля складской логистики [2]. Дополнительно исследуется влияние таких факторов, как квалификация персонала, структура коммуникационных сетей цепочек поставок и системы управления запасами на эффективность складских операций [3].

Для предприятий топливно-энергетического комплекса, обладающих разветвлённой сетью складов и потребителей, эти задачи особенно актуальны, учитывая территориальную распределённость объектов.

В рамках эксплуатации магистральных трубопроводов ключевым является не только цифровой учёт складских запасов, но и совершенствование логистической сети нефтеперекачивающих станций. Это необходимо для обеспечения бесперебойной работы нефтеперекачивающих станций, от функционирования которых зависит эффективность всего участка трубопровода.

Целью исследования является разработка автоматизированной системы взаимодействия складов нефтеперекачивающих станций в задаче минимизации времени обслуживания магистральных насосных агрегатов. Предлагаемая автоматизированная система применима и в иных сферах деятельности предприятий, обладающих разветвлённой сетью объектов.

Разработанная автоматизированная система направлена на возможность автоматической проверки формируемых заявок на наличие требуемого комплекта у ближайших нефтеперекачивающих станций. В работе проведён анализ применения методов поиска кратчайшего пути как основы анализа области ближайших складов, а также рассмотрено применение автоматизированной системы в задаче

формирования графиков планового обслуживания оборудования.

#### Список литературы

- [1] ZHEN L., LI H. A literature review of smart warehouse operations management // *Frontiers of Engineering Management*. 2022. Vol. 9. N. 1. P. 31–55.  
[2] TRAV S., BALIC E., ZOUINKHI A. ET AL. A communicating object's approach for smart logistics and safety issues in warehouses // *Concurrent Engineering*. 2017. Vol. 25. N. 1. P. 53–67.  
[3] ALSHALAWI K. S. M., BHATTI M. A. Warehouse Operational efficiency: role of material handling technology, skills set, supply chain communication network and staffing level // *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*. 2023. Vol. 6. N. 1. P. 293–311.

#### 4.4. Бажин А.О. Проблемы проектирования и разработки распределённых транзакционных систем хранения данных

Современные информационные системы предъявляют высокие требования к системам управления и хранения данных. Одним из главных требований, к примеру, является масштабируемость и отказоустойчивость с сохранением строгой транзакционной целостности. Классические открытые реляционные СУБД, такие как PostgreSQL, в чистом виде не способны удовлетворить эти требования. В этой связи требуется переход к распределённым транзакционным СУБД нового класса — NewSQL [1, 2]. Однако стоит заметить, что многие коммерческие СУБД, как классические, так и NewSQL, зачастую недоступны российскому рынку ввиду лицензионных ограничений, в связи с чем существует потребность именно в открытых СУБД класса NewSQL.

Целью работы является выявление ключевых проблем, связанных с проектированием, разработкой и применением распределённых транзакционных СУБД.

В ходе работы были выявлены пять ключевых проблем:

1. Рост потребности в распределённых СУБД, поддерживающих ACID-транзакции, ввиду ограничений классических СУБД.
2. Необходимость поддержки мультимодельного способа представления данных в рамках единой СУБД.
3. Отсутствие гибридной (в памяти/на диске) модели хранения данных с декларативным управлением.
4. Необходимость поддержки механизмов масштабируемого и изолированного исполнения пользовательского кода рядом с данными.
5. Отсутствие единой платформы-конструктора для создания различных СУБД под конкретные задачи.

С учётом выявленных проблем был проведён сравнительный анализ отечественных и зарубеж-

ных СУБД класса NewSQL с открытым исходным кодом. В результате сравнительного анализа был сделан вывод, что ни одна из существующих СУБД не решает все выявленные проблемы в комплексе.

Как итог, была предложена концептуальная архитектура универсальной платформы, которая позволяет преодолеть выявленные проблемы и может служить основой для дальнейших работ по проектированию и разработке.

*Научный руководитель — к.т.н. Перл И. А.*

#### Список литературы

- [1] CHUNG J. Z. A., CHANG M. M. L., PHANG S. K. Recent advances and benchmarking of NewSQL for OLTP and OLAP in the big data age // 2023 IEEE 13th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE). IEEE, 2023. P. 168–174.
- [2] PAVLO A., ASLETT M. What’s really new with NewSQL? // ACM Sigmod Record. 2016. Vol. 45. N. 2. P. 45–55.

#### 4.5. Бажшеев И.Д. Общий метод кодирования с ограничениями для двух измерений

Проблема кодирования с ограничениями возникает в задачах передачи и хранения информации. Требование поддержки двух измерений при кодировании, когда символ зависит не только от предыдущих, но и от символов в полосе выше, появляется, например, при записи информации на магнитную пленку, где нежелательно наличие изолированных бит [1]. Например, на схематично изображённом фрагменте пленки ниже заключённый в рамку бит является изолированным (при 8-связности — так как все его восемь соседей по горизонтали, вертикали и диагоналям равны нулю; при 4-связности — также изолирован, поскольку во всех четырёх ортогональных соседях находятся нули):

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \boxed{1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Разработанный метод работает с произвольными алфавитами и поддерживает широкие классы ограничений, такие как локальные ограничения (запрет определённых подслов, RLL), глобальные ограничения (условия на сумму  $\sum_i x_i$  и на энергию  $\sum_i |x_i|^2$  последовательности символов  $x_1, \dots, x_n$ ), а также комбинации этих ограничений. Метод развивает подход Рябко Б.Я. [2] и Ковера Т. [3] и предлагает кодирование по полосам для двумерной сетки и по пластам для трёхмерной; состояния полос нумеруются, по ним задаётся таблица переходов, число допустимых продолжений считается методом динамического программирования, и кодирование выполняется последовательно по полосам с учётом заданных ограничений. Итоговая сложность предлагаемого подхода значительно растёт с добавлением каждого нового ограничения или с увеличением вы-

соты полосы. Для обеспечения быстродействия применяются несколько оптимизаций: схлопывание состояний в таблице динамического программирования, что ускоряет подсчёт коэффициентов и уменьшает память; ранняя отсечка для аддитивных глобальных ограничений, когда по диапазонам весов символов и оставшейся длине заранее выявляется недостижимость целевого интервала.

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

#### Список литературы

- [1] FORCHHAMMER S., LAURSEN T. V. A Model for the Two-Dimensional No Isolated Bits Constraint // Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT). 2006. P. 1189–1193.
- [2] РЯБКО В. A general method for the development of constrained codes // IEEE Transactions on Information Theory. 2025. Vol. 71. N. 5. P. 3510–3515.
- [3] COVER T. Enumerative source encoding // IEEE Transactions on Information Theory. 1973. Vol. 19. N. 1. P. 73–77.

#### 4.6. Гридяев Е.А., Немоляев Т.В., Казакова Д.И., Седойкин Р.С., Альгашев Г.А. Система автоматизированного мониторинга рейтингов абитуриентов в конкурсных списках

В настоящей работе рассматривается разработка автоматизированной информационной системы мониторинга конкурсных списков абитуриентов, направленной на обеспечение оперативного учёта динамики приёмной кампании и повышение прозрачности процедур формирования рейтинговых списков. Актуальность обоснована увеличением числа поступающих и усложнением правил приёма, включая последовательную перестановку приоритетов, возврат оригиналов документов и массовые обновления заявлений, что исключает адекватное применение ручных и полуавтоматических средств обработки данных и требует формализованных процедур аудита и автоматического пересчёта рейтингов [1].

Цель проекта заключается в проектировании модульной и масштабируемой системы, обеспечивающей импорт входных данных, их формальную валидацию по заданным правилам, корректное формирование конкурсных списков с учётом приоритетов заявлений и проходных баллов, а также сохранение полной истории изменений для целей проверки соответствия регламента и воспроизводимости решений. Для достижения этой цели предложена клиент-серверная архитектура с выделением функциональных подсистем обработки входных данных, программной реализации алгоритмов формирования и пересчёта списков, подсистемы хранения журналов операций с временными метками и идентификацией инициаторов, а также компонент пользовательского интерфейса для оперативной работы сотрудников приёмной комиссии. Данные логиче-

ски структурированы вокруг трёх основных сущностей: «абитуриент» (оценки, набор приоритетов), «направление подготовки» (число вакантных мест, историческая статистика) и «запись журнала операций» (временная метка, тип операции, инициатор), что упрощает формализацию бизнес-правил и расширение предметной модели.

В качестве технической реализации предпочтена комбинация технологий, обеспечивающая детерминированность поведения и возможности масштабирования: серверная логика реализована с использованием платформы Spring Boot (проект на языке Java), компонент пользовательского интерфейса — с применением библиотеки React.js [2] для построения интерактивных представлений, для визуализации метрик используются специализированные библиотеки визуализации данных [3], а в качестве системы управления базами данных рекомендуется PostgreSQL; процессы развёртывания и обеспечения качества реализуются посредством контейнеризации и механизмов непрерывной интеграции и непрерывного развёртывания. Такая реализация обеспечивает разделение ответственности между слоями системы, упрощает модульное тестирование и даёт возможность горизонтального масштабирования при росте нагрузки. Важным компонентом архитектуры является подсистема журналирования: каждая транзакция и изменение записываются с указанием времени, типа операции и идентификатора пользователя, что гарантирует воспроизводимость состояния и поддержку процедур внутреннего и внешнего контроля.

Интерфейсные решения предусматривают представление рейтингов в табличном виде с многоуровневой фильтрацией и возможностями сортировки, визуализацию динамики подачи и отзыва документов и агрегированные показатели конкуренции по направлениям подготовки для принятия управленческих решений. Верификационные испытания в имитированной среде, моделирующей нагрузку крупного высшего учебного заведения, показали приемлемое время обработки: массовая загрузка и валидация десятков тысяч записей выполняются за несколько секунд, а критические операции пересчёта рейтингов выполняются в доли секунды, что обеспечивает предоставление практически актуальной информации сотрудникам приёмной комиссии.

Сравнительный анализ с традиционными подходами (например, электронными таблицами) и универсальными информационными системами демонстрирует преимущества предложенного решения в части формализации бизнес-правил, обеспечения полноты журнала операций и расширенных средств аналитики и визуализации; модульная архитектура обеспечивает адаптивность к изменениям нормативных требований и облегчает интеграцию допол-

нительных функциональных модулей [4]. Практическая значимость заключается в уменьшении объёма ручной работы, снижении числа ошибок при формировании конкурсных списков и повышении прозрачности процедур приёма. Для дальнейшего развития рекомендуется направление исследований и разработок в сторону внедрения методов прогнозной аналитики на основе машинного обучения для аппроксимации проходных баллов, расширения интеграции с внешними информационными системами и оптимизации алгоритмов распределения с учётом сложных правил приёма, что позволит повысить точность прогнозов и адаптивность системы к изменяющимся требованиям приёмных кампаний.

#### Список литературы

- [1] Божович М. Поступление похоже на игру в покер. Эксперт — о проекте новых правил приёма в вузы-2025 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pravmir.ru/postuplenie-pohozhe-na-igru-v-poker-ekspert-o-proekte-novyh-pravil-priema-v-vuzy-2025/> (дата обращения: 31.07.2025).
- [2] Суздальницкий И. React.js: понятное руководство [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/428077/> (дата обращения: 31.07.2025).
- [3] OLUWADAMISI S. How to use Chart.js for interactive data visualization [Электронный ресурс]. URL: <https://www.freecodecamp.org/news/how-to-use-chart-js-for-interactive-data-visualization/> (дата обращения: 31.07.2025).
- [4] ГЕНЕРАЛОВ И. Г., АЛЕКСЕЕВА Л. А. Место «1С: Университет» среди информационных технологий [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mesto-1s-universitet-sredi-informatsionnyh-tehnologiy/viewer> (дата обращения: 31.07.2025).

#### 4.7. Гунько Т.В. Проектирование и разработка статического анализатора промежуточных представлений «LuNA-программ»

В области параллельного программирования семантические ошибки создают серьезные проблемы, так как они не обнаруживаются компилятором и включают не только ошибки, свойственные последовательным программам, но и специфические для параллелизма. Один из подходов к обнаружению семантических ошибок — это статические анализаторы.

Код для системы автоматического конструирования параллельных программ «LuNA» [1] совмещает два языка программирования: LuNA для описания прикладного алгоритма и C++ для реализации его операций. LuNA — это высокоуровневый инструмент параллельного программирования, в котором пользователю не нужно организовывать управление процессами и потоками на низком уровне. Проблема заключается в том, что на данный момент нет статического анализатора, охватывающего логику всей

программы полностью.

По этой причине была поставлена цель спроектировать и реализовать статический анализатор, который по совокупности LuNA и C++ кода мог бы выявлять семантические ошибки в местах взаимодействия языков программирования.

Принцип работы анализатора основывается на переводе кода каждого языка программирования в своё промежуточное представление «LLVM IR». После успешного перевода необходимо объединить результаты в одно представление, отражающее полную логику исходной «LuNA-программы». Следующим шагом станет использование библиотеки, основанной на «Data-flow» и «Monotone» анализах промежуточных представлений, чтобы отыскать ошибки потока данных.

На данный момент программа позволяет переводить полностью C++ и частично LuNA код — планируется закончить перевод и воспользоваться библиотекой «PhASAR» [2] для написания собственных проверок.

Проверки будут направлены на следующие ошибки [3]: несоответствие типов аргументов функций; нарушения безопасности памяти (dangling pointers, use-after-free или null dereferences при обмене указателями); использование неинициализированных значений (uninitialized variables, приводящее к undefined behavior); а также проблемы с calling conventions и control flow (несовместимые соглашения вызовов или unreachable code).

Научная новизна данного проекта заключается в том, что для фрагментированных программ впервые будет применен метод статического анализа, способный обнаруживать семантические ошибки «на стыке» различных языков программирования.

*Научный руководитель — к.т.н. Власенко А. Ю.*

#### Список литературы

- [1] MALYSHKIN V. E., PEREPELKIN V. A., SCHUKIN G. A. Scalable Distributed Data Allocation in LuNA Fragmented Programming System // Journal of Supercomputing. 2016. P. 726–732.
- [2] MALYSHKIN V., VLASENKO A., MICHUROV M. Automated Debugging of Fragmented Programs in LuNA System // D. Balandin et al. (Eds.): 22nd International Conference, MMST 2022. 2022. P. 266–280.
- [3] SCHUBERT P. D., HERMANN B., BODDEN E. PhASAR: An Inter-procedural Static Analysis Framework for C/C++ // Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems. 2019. Vol. 11428. N. 1. P. 393–410.

#### 4.8. Гурин Е.И. Построение отказоустойчивой мультиоблачной инфраструктуры на основе децентрализованной P2P-архитектуры

Современная ИТ-инфраструктура часто использует облачные вычисления, в том числе гибридные и мультиоблачные среды, что позволяет повысить

гибкость и избежать привязки к одному провайдеру. Однако ключевой проблемой таких систем остаётся обеспечение отказоустойчивости и масштабируемости связей между географически распределёнными кластерами. Существующие решения — централизованные оркестраторы, федеративные менеджеры и технологии SD-WAN/VPN — имеют фундаментальный недостаток: наличие единой точки отказа, что сводит на нет преимущества распределённой инфраструктуры. При сбое центрального компонента или деградации сетевых каналов происходит критическое снижение доступности и производительности всей системы.

Анализ современных архитектур выявил ряд нерешённых задач:

1. Наличие единой точки отказа: традиционные облачные сервисы зависят от централизованной маршрутизации и управления [1].
2. Ограниченная отказоустойчивость: Межоблачные соединения, построенные на VPN или федеративных API, демонстрируют медленное и ненадёжное восстановление при сбоях [1, 2].
3. Барьеры масштабируемости: рост числа узлов и объёма трафика приводит к деградации производительности на центральных узлах [3, 4].
4. Низкая устойчивость к сетевым атакам и сбоям: архитектуры не обладают достаточной гибкостью для динамического перенаправления трафика в обход проблемных участков сети.

В качестве решения предлагается разработать архитектуру распределённой overlay-сети, основанную на принципах пиринговых (P2P) систем. Основная гипотеза заключается в том, что децентрализованное взаимодействие между облачными кластерами позволяет устранить единые точки отказа, повысить скорость восстановления и обеспечить горизонтальную масштабируемость. Научная новизна работы заключается в адаптации и применении хорошо зарекомендовавших себя P2P-принципов к задаче построения отказоустойчивой инфраструктуры для контейнерных и облачных сред.

*Научный руководитель — к.т.н. Перл И. А.*

#### Список литературы

- [1] KUMARI P., KAUR P. A survey of fault tolerance in cloud computing // Journal of King Saud University — Computer and Information Sciences. 2021. Vol. 33. P. 1159–1176.
- [2] ZAHIR A., GROSHEV M., ANTEVSKI K. ET AL. Performance evaluation of private and public blockchains for multi-cloud service federation // Proceedings of the 25th International Conference on Distributed Computing and Networking (ICDCN). 2024. Vol. 33. P. 1159–1176.
- [3] JANBI N. F. Peer to Peer Cloud Providers Federation // Journal of King Abdulaziz University — Computing and Information Technology Sciences. 2019. Vol. 8. N. 1. P. 59–69.

[4] GUPTA N., VAIDYA N. H. Byzantine Fault-Tolerance in Peer-to-Peer Distributed Gradient-Descent. 2021. DOI 10.48550/arXiv.2101.12316.

**4.9. Джаркинов Р.Б., Пискунов С.А., Шишаев Г.Ю., Мерзлякин Б.С., Гоголев А.С. Оценка субразрешённой пористости по данным томографической съёмки с использованием методов глубокого обучения**

Микрокомпьютерная томография ( $\mu$ СТ) — важный инструмент цифрового анализа геологических образцов, позволяющий строить трёхмерные модели, визуализировать внутреннюю структуру и решать другие задачи. В связи с истощением легкоизвлекаемых запасов нефти возрастает интерес к разработке низкопроницаемых коллекторов. При этом возникает проблема: значительная доля пор имеет характерные размеры меньше пространственного разрешения  $\mu$ СТ. Такие поры в трёхмерных моделях становятся субразрешёнными и недетектируемыми. Игнорирование субразрешённой пористости приводит к систематическому занижению общей пористости и ошибкам при численном моделировании [1].

Одно из решений — контрастирование образца инертным газом (ксеноном). Съёмка пары «сухой образец / с ксеноном» и последующая обработка позволяют построить трёхфазные цифровые модели (матрица, разрешённые поры, субразрешённые поры). Показано, что вычисленные свойства хорошо согласуются с лабораторными оценками [2]. Однако метод требует специализированного оборудования, сложной подготовки и заметных затрат на ксенон, что ограничивает применимость.

В настоящей работе предлагается альтернатива: детекция субразрешённой пористости по данным  $\mu$ СТ без контрастирования с применением методов глубокого обучения. Модели обучаются на парах изображений «без контраста / с ксеноном» и затем по данным без контраста предсказывают контрастированное изображение. Рассмотрены два класса моделей: свёрточные нейронные сети (CNN) и диффузионные модели, основанные на вероятностном пошаговом зашумлении и восстановлении изображения [3]. Подход на основе CNN корректно восстанавливает структуру порового пространства и интегральные характеристики пористости, согласующиеся с томографией с контрастом. Диффузионная модель устойчивее к шуму и воспроизводит пространственные закономерности распределения субразрешённых зон, но уступает по точности абсолютных значений пористости; для точной детализации ей требуется существенно больший объём обучающих данных.

**Список литературы**

[1] CARRILLO F. J., SOULAINÉ C., BOURG I. C. The impact of sub-resolution porosity on numerical

simulations of multiphase flow // *Advances in Water Resources*. 2022. Vol. 161. Art. 104094.

[2] EBADI M., ORLOV D., ALEKSEEV V. ET AL. Lift the veil of secrecy in sub-resolved pores by Xe-enhanced computed tomography // *Fuel*. 2022. Vol. 328. Art. 125274.

[3] HO J., JAIN A., AVBEEL P. Denoising Diffusion Probabilistic Models // *Advances in neural information processing systems*. 2020. Vol. 33. P. 6840–6851.

**4.10. Евсюков К.Н. Сравнение и анализ точности при решении задачи бинарной классификации разными методами: нахождение индекса Юдена по ROC кривой и его использование в качестве идеального разделителя классов и классификации методом k ближайших соседей**

Бинарная классификация — это одна из самых распространённых и практически значимых задач анализа данных, где требуется разделить объекты на два класса (например, как в нашем случае похожее/непохожее изображение) с максимальной точностью. Важным этапом решения задачи является определение наилучшего механизма классификации, подходящего под конкретную задачу [1].

Рассмотрим на примере задачи классификации пар изображений с двумя классами: похожие и непохожие. При разработке сиамской нейронной сети для обнаружения похожих изображений в базе эмбеддингов ключевым моментом является обучение модели так, чтобы она преобразовывала изображения в компактные векторные представления (эмбеддинги) в пространстве, где расстояния между векторами напрямую отражают степень сходства изображений. Сиамская сеть состоит из двух идентичных подсетей, которые одновременно обрабатывают пару изображений и обучаются минимизировать расстояние между эмбеддингами похожих изображений и максимизировать его для непохожих. Кроме того, обучение с помощью сиамских сетей и функций потерь, ориентированных на расстояния, в нашем случае Contrastive Loss, помогает добиться того, чтобы эмбеддинги были максимально информативными и линейно разделимыми, что улучшает качество поиска и снижает вычислительные затраты.

Предварительно была обучена модель, благодаря которой из изображений получаем их представление в виде вектора размерности 512. Это оптимальное значение размерности векторов представлений изображений из датасета COCO 2017 года, оно было найдено эмпирически. Задача состоит в том, чтобы найти оптимальный способ разделения расстояний на эти два класса. Первый способ получить значение разделяющее класс является вычисление индекса Юдена по ROC кривой. Индекс Юдена — это разница между долей истинно положительных результатов (чувствительностью теста) и долей лож-

ноположительных результатов [2]. Вторым рассматриваемым способом классификации является метод К ближайших соседей, основанный на вычислении расстояния между объектами в признаковом пространстве.

Чтобы лучше оценить качества классификации, нужно проверить на как можно большем объёме данных. В датасете СОСО 2017 [3] 118 тысяч изображений, чтобы увеличить их количество, сделаем аугментацию данных, добавляя на каждое изображение текст, применяя небольшое кадрирование, изменение контрастности и яркости картинка. Сделав эти изменения случайными к каждой картинке, было получено несравнимо большее число изображений, чем было в датасете изначально. Благодаря такому способу аугментации было получено суммарно 473144 пар изображений.

Также проведено тестирование, на том же наборе данных, модели К ближайших соседей. Было эмпирически установлено, что модель с KNN имеет почти одинаковое количество ошибок в предсказании обоих классов, а модель с пороговым классификатором с использованием индекса Юдена намного лучше определяет, что изображения одинаковые и при этом хуже понимает, что картинки в паре разные. Классификатор с использованием порогового значения подойдёт в задачах, где первый класс должен быть предсказанным с большей точностью чем второй. На примере со сравнением изображений в системах поиска более допустимо ошибиться, что изображения разные, чем, что они одинаковы. Иначе пользователь будет видеть больше ошибок на запрос отбора похожих картинок. Оба классификатора имеют свои недостатки и положительные свойства. Оба этих классификатора имеют место в зависимости от специфики решаемой задачи.

#### Список литературы

- [1] МЕТРИКИ КАЧЕСТВА БИНАРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ [Электронный ресурс]. URL: <https://loginom.ru/blog/classification-quality> (дата обращения 25.08.2025).
- [2] Михнин А. Е. ROC-анализ и логистическая регрессия в MedCalc [Электронный ресурс]. URL: <https://www.niioncologii.ru> (дата обращения 25.08.2025).
- [3] COMMON OBJECTS IN CONTEXT DATASET [Электронный ресурс]. URL: <https://cocodataset.org> (дата обращения 25.08.2025).

#### 4.11. Елисеев Д.С. Разработка программно-аппаратных архитектур для повышения эффективности защиты и обработки данных в медицинской информационной системе для сельского фельдшерско-акушерского пункта с ограниченной сетью и локальной обработкой данных

В условиях активной цифровизации здравоохра-

нения аутальной задачей остаётся обеспечение доступности и устойчивости медицинских информационных систем (МИС) для сельских фельдшерско-акушерских пунктов. Актуальность проблемы связана с реализацией государственной концепции единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения [1].

В работе решается задача разработки программно-аппаратной архитектуры МИС, адаптированной к условиям ограниченной сетевой инфраструктуры и низкого уровня ИТ-поддержки. Цель исследования — обеспечить непрерывность клинических процессов, защиту персональных данных и минимизацию зависимости от постоянного интернет-соединения при соблюдении требований законодательства о персональных данных [2].

Для достижения цели проведён анализ отечественных и международных практик, нормативной базы и научных источников по МИС и архитектуре информационных систем [3, 4]. Выполнено моделирование угроз для оценки уязвимостей; спроектирован и реализован прототип локального вычислительного узла с «offline-first» EMR на энергоэффективной платформе и защищённой локальной сети. Смоделированы сценарии прерывистых каналов связи и протестированы механизмы инкрементной репликации и разрешения конфликтов при синхронизации.

В качестве методов использовались системный обзор, архитектурное проектирование, прототипирование аппаратно-программного узла, имитация сетевых сбоев и пользовательское тестирование. Прототип обеспечивал автономную работу до 7 суток, а использование шаблонов и автоматизации сократило время регистрации приёма на 25–30 процентов.

Научная новизна исследования состоит в разработке архитектуры медицинской информационной системы, сочетающей оффлайн-ориентированную электронную медицинскую карту с инкрементной репликацией данных, механизмами отложенной синхронизации (Delay-Tolerant Networking), аппаратным модулем доверия (TPM/HSM) для управления ключами, принципами Zero-Trust сегментации сети и элементами локальной аналитики с возможностью распределённого обучения (federated learning). Такая интеграция ранее практически не применялась в российских проектах и обеспечивает повышение устойчивости, защищённости и автономности МИС при ограниченных ресурсах.

Предложенные методы и архитектурные решения могут стать основой для внедрения и последующей стандартизации МИС для первичного звена здравоохранения, что позволит повысить доступность и безопасность медицинской помощи в сельской местности.

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Пестунов А. И.*

### Список литературы

- [1] Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 28.04.2011 № 364 «Об утверждении концепции создания единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения».
- [2] Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ (ред. от 21.07.2014) «О персональных данных».
- [3] Зыков С. В. Архитектура информационных систем: основы проектирования / М.: Юрайт, 2025. 350 с.
- [4] ОБМАЧЕВСКАЯ С. Н. Медицинская информатика: курс лекций / Екатеринбург: УрГМУ, 2021. 148 с.

#### 4.12. Жестков А.С., Уханов М.А., Мальцев В.М., Альгашиев Г.А. Визуальное позиционирование транспортного средства на графе дорожной инфраструктуры с использованием компьютерного зрения и последовательного анализа дорожных знаков

Актуальность работы обусловлена ограничениями спутниковых систем навигации (GPS/ГЛОНАСС) в условиях городской застройки, где плотная застройка и помехи приводят к потере сигнала. Это критично для систем помощи водителю (ADAS) и автономной навигации. Предлагаемый метод визуального позиционирования использует дорожные знаки в качестве семантических ориентиров, для точной локализации, не зависящей от GNSS (Глобальная навигационная спутниковая система) [1].

Цель работы — разработка системы позиционирования на основе видеопотока с детекцией дорожных знаков с помощью моделей YOLO [2] и их последующего сопоставления с графом, узлы которого соответствуют знакам, а рёбра — маршрутам. Для поиска кратчайшего пути применяются алгоритмы Дейкстры,  $A^*$  и двунаправленный поиск с учётом весовых коэффициентов, отражающих уникальность знаков. Это обеспечивает устойчивость к частичной окклюзии и изменчивым условиям видимости.

Эксперименты проводились в городских условиях с использованием данных OpenStreetMap [3] и видеозаписей с автомобильного регистратора. Модели YOLO демонстрируют высокую точность детекции малых объектов. Система корректно идентифицирует местоположение транспортного средства с погрешностью, не превышающей 10–15 метров на участках с достаточной плотностью знаков. Визуализация реализована с помощью JXMapView [4].

Уникальность подхода состоит в разработке метода, который интегрирует слежение за визуальными метками, создание изменяемого графа с ранжированием уникальных ключевых точек и специализированные алгоритмы маршрутизации. Данное решение предназначено для функционирования на мобильных платформах в режиме реального времени

и служит дополнением к GNSS, гарантируя бесперебойную навигацию в условиях отсутствия сигнала спутников.

Перспективы работы включают расширение набора ориентиров (светофоры, разметка, билборды) и интеграцию с инерциальными датчиками для повышения точности.

Основные показатели точности:

- $\text{metrics/precision}(B) = 0.72$ ;
- $\text{metrics/recall}(B) = 0.55$ ;
- $\text{metrics/mAP50}(B) = 0.63\text{--}0.65$ ;
- $\text{metrics/mAP50-95}(B) = 0.48\text{--}0.50$ .

В открытых условиях GPS обеспечивает точность 5–10 м, однако в городской застройке погрешность возрастает до 30 м и более из-за отражений и потери сигнала. Предложенный метод визуального позиционирования достигает точности 10–15 м при достаточной плотности дорожных знаков и не зависит от спутникового сигнала. Частота обновления координат у GPS обычно около 1 Гц, тогда как в разработанной системе она определяется мощностью процессора и достигает 5–15 кадров в секунду при использовании CPU.

### Список литературы

- [1] SEGUN A. A., ABIODUN A. I. A review of global navigation satellite systems (GNSS) and its applications // International Journal of Scientific and Engineering Research. 2021. Vol. 12. N 4. P. 1042–1049.
- [2] HUSSAIN M. YOLOv5, YOLOv8 and YOLOv10: The Go-To Detectors for Real-Time Vision [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/abs/2407.02988> (дата обращения: 31.07.2025).
- [3] OPENSTREETMAP [Электронный ресурс]. URL: <https://www.openstreetmap.org> (дата обращения: 31.07.2025).
- [4] JXMAPVIEWER [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/msteiger/jxmapviewer2> (дата обращения: 31.07.2025).

#### 4.13. Журавлев В.А. Генератор псевдослучайных чисел с внешним источником энтропии, генерирующий последовательности, нормальные по Борелю

В моделировании и криптографии нужны генераторы случайных чисел, порождающие последовательности бит, которые одновременно выдерживают наборы статистических тестов и остаются непредсказуемыми. Цель этой работы — построить генератор псевдослучайных чисел с внешним источником энтропии, у которого выходная последовательность будет асимптотически нормальной по Борелю и в котором будет поддерживаться инкрементальный режим.

Основой предлагаемого генератора псевдослучайных чисел являются *двуликие процессы* — такие процессы, у которых для слов длины  $\leq l$  частоты равны  $2^{-l}$  [1].

Архитектура генератора следующая:  $X$  — сумма слоев нескольких двуликих процессов разного порядка по модулю 2 [2] (нормализующая последовательность);  $Y$  — последовательность, получаемая из внешнего источника, с помощью криптографической хэш-функции (энтропийная последовательность; данная последовательность проходит тесты NIST [3, 4]);  $Z = X \oplus Y$  — итоговая последовательность, которая называется схема с добавленной энтропией. Доказано, что если  $X$  и  $Y$  независимы друг от друга, то для любого фиксированного  $k$  сохраняется  $k$ -распределенность, а значит, асимптотическая нормальность по Борелю. Реализация использует скользкую XOR-сумму:  $O(1)$  операций на бит на слой и  $O(\sum m_i)$  памяти;  $Y$  делает reseed при поступлении новых порций энтропии без пересчета  $X$ .

Пройдены статистические тесты: NIST (при  $\alpha = 0.01$ ); TestU01 (SmallCrush/Crush/BigCrush) — без подозрений; PractRand — без аномалий до 8 ГБ. Проверка подпоследовательностей длины  $k$  не показала систематических отклонений до  $2^{40}$  бит.

Основные результаты работы:

1. Реализован генератор псевдослучайных чисел, сохраняющий  $k$ -распределенность при сумме по модулю 2 двух независимых последовательностей.
2. Нормализующая последовательность  $X$  основана на нескольких двуликих процессах, сложенных по модулю 2, с поддержкой инкрементального режима — добавления новых слоев двуликих процессов в процессе работы генератора.
3. Добавление последовательности  $Y$ , на основе внешнего источника энтропии (аппаратного генератора случайных чисел, например на основе шумов датчиков) без пересчета предыдущей последовательности

Итоговая схема проста для реализации:  $Z = X \oplus Y$ . Также она эффективна с точки зрения статистических свойств. Ограничение: нормальность по Борелю — необходимое, но не достаточное свойство для криптографической стойкости.

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

#### Список литературы

- [1] РЯВКО В. Low-Entropy Stochastic Processes for Generating  $k$ -Distributed and Normal Sequences, and the Relationship of These Processes with Random Number Generators // Mathematics. 2019. Vol. 7. N. 9. Art. 838.
- [2] РЯВКО В. A Pseudo-Random Generator Whose Output is a Normal Sequence // International Journal of Foundations of Computer Science. 2021. Vol. 32. N. 8. P. 981–989.
- [3] NIST SP 800-22 Rev. 1. A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographics Applications / Gaithersburg, MD: NIST, 2010. 131 p.

- [4] NIST SP 800-90B. Recommendation for the Entropy Sources Used for Random Bit Generation / Gaithersburg, MD: NIST, 2018. 84 p.

#### 4.14. Ильин М.И. Разработка мультиагентной ИИ-платформы для создания учебного материала на основе корпоративной документации

Современное технологическое развитие процессов производства товаров и услуг оказывает существенное влияние на рынок труда и обучение сотрудников. Особую актуальность приобретают вопросы привлечения и удержания представителей поколений Y и Z, для которых характерны иные форматы взаимодействия, восприятия информации и обучения. Традиционные подходы к адаптации и обучению сотрудников оказываются недостаточно эффективными в условиях постоянно возрастающей сложности производственных процессов, увеличения объемов технической документации и цифровизации производства.

Целью данной научно-исследовательской работы является разработка сервиса, позволяющего создавать эффективные и понятные обучающие материалы из сложной технической документации для онбординга и повышения квалификации сотрудников. Главным преимуществом сервиса является мультиагентная AI-архитектура [1], предполагающая наличие отдельных AI-агентов, основанных на использовании функциональности больших языковых моделей и предполагающих наличие собственной краткосрочной и долгосрочной памяти, а также собственного планировщика задач.

При создании учебного контента сервис использует AI-агентов, которые выполняют разбиение текста на смысловые блоки, премодерацию и выделение ключевых идей. На основе этого формируется структура курса, обрабатываются материалы технической документации (изображения, таблицы, графики), переписывается текст в соответствии с построенной логикой. Дополнительно создается глоссарий терминов, формируются тестовые и открытые вопросы, после чего итоговый курс представляется в требуемом формате.

В ходе исследования был разработан крупный коммерческий прототип данного сервиса, демонстрирующий эффективное и качественное преобразование исходных текстов различных технических документов в структурированные обучающие материалы, что существенно упрощает восприятие исходной информации.

*Научный руководитель — к.т.н. Будников К. И.*

#### Список литературы

- [1] GULLI A. Part One // Agentic Design Patterns: A Hands-On Guide to Building Intelligent Systems / Springer, 2025.

#### 4.15. Козьмин А.Д., Бороздин П.А. Интеллектуальное извлечение признаков и классификация событий в распределенных акустических датчиках с использованием вейвлет-пакетной декомпозиции

В работе рассматриваются актуальные задачи извлечения информативных признаков из данных распределённых акустических датчиков (DAS), что обусловлено быстрым ростом рынка подобных систем и необходимостью своевременного обнаружения угроз при сложных условиях развертывания [1]. Современные DAS сталкиваются с проблемами выделения качественных признаков, что затрудняет точную классификацию событий и снижает эффективность охраны периметра.

Для решения этих задач предлагается подход к извлечению спектральных признаков на основе вейвлет-пакетной декомпозиции (WPD), обеспечивающий быстрый и автоматический выбор наиболее информативных спектральных каналов [2]. Ключевым результатом является создание алгоритмов быстрого извлечения признаков с применением WPD, а также разработка метрик оценки информативности каналов сигнала. Такой подход позволяет ускорить развертывание DAS за счет исключения необходимости перебора всех каналов и повышает точность классификации.

Разработаны и протестированы алгоритмы предварительной фильтрации данных с помощью WPD и метода главных компонент (PCA), что позволило реализовать каскадную модель классификации событий: предварительная фильтрация охватывает более 43% исходных данных, а показатель Recall превышает 99%. Преимущество подхода заключается в возможности существенно сократить размерность данных при сохранении информативности и обеспечить более быструю обработку по сравнению с традиционными методами, основанными на быстром преобразовании Фурье.

Эффективность решений подтверждена экспериментами на реальных данных — более 160 000 уникальных рефлектограм, собранных на трёх станциях в различных геофизических условиях. Для повышения достоверности были обучены и протестированы многочисленные сверточные нейронные сети. Предложенные методы способны существенно повысить производительность и надежность DAS, а также расширить возможности их применения в режиме реального времени.

Результаты работы демонстрируют практические подходы к сокращению затрат на развертывание систем, оптимизации извлечения информативных признаков и повышению качества классификации за счет каскадных моделей и предварительной фильтрации. Подходы на базе WPD перспективны не только для систем DAS, но и для других мониторинговых комплексов на основе сенсорных данных,

что открывает направления для будущих исследований и внедрений.

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Редюк А. А.*

#### Список литературы

- [1] HERNÁNDEZ P. D., RAMÍREZ J. A., SOTO M. A. Deep-learning-based earthquake detection for fiber-optic distributed acoustic sensing // *Journal of Lightwave Technology*. 2021. Vol. 49. N. 8. P. 2639–2650.
- [2] SHI J., CUI K., WANG H. ET AL. An interferometric optical fiber perimeter security system based on multi-domain feature fusion and SVM // *IEEE Sensors Journal*. 2021. Vol. 21. N. 7. P. 9194–9202.

#### 4.16. Коноваленко О.В. Методы стеганографии для сокрытия данных

В условиях роста объемов цифровой информации и повышения требований к её конфиденциальности особую актуальность приобретают методы стеганографии для сокрытия данных [1]. В работе проведён сравнительный анализ существующих методов стеганографии [2], включая классический метод наименее значимого бита (LSB), сокрытие данных в метаданных EXIF и метод наложения. Оценка эффективности выполнена по ключевым метрикам: ёмкости контейнера, пиковому отношению сигнала к шуму (PSNR) и индексу структурного сходства (SSIM) [3].

В работе предложен новый модифицированный LSB-метод, обеспечивающий повышенную стойкость к обнаружению. Основные особенности модификации: использование внутреннего ключа, внедряемого в начальные пиксели контейнера, адаптивное распределение скрываемых данных с переменными пропусками и сдвигами, а также динамическая инверсия битов на основе псевдослучайной последовательности, инициализируемой параметрами изображения. Такой подход значительно усложняет анализ контейнера стандартными стегоаналитическими инструментами.

Для практической реализации и тестирования разработано программное приложение на языке Python с графическим интерфейсом, поддерживающее работу с изображениями, видео и аудиофайлами. Оно позволяет применять как классические, так и предложенный модифицированный методы, а также дополнительно шифровать данные с использованием стандартизированного алгоритма AES.

Экспериментальные исследования показали, что модифицированный метод сохраняет высокие визуальные характеристики стегоизображений (средние значения  $PSNR > 52$  дБ,  $SSIM > 0.998$ ), при этом обеспечивая значительно более равномерное распределение скрываемых данных. Статистический анализ по критерию  $\chi^2$  подтвердил, что для большинства тестовых изображений значение критерия у модифицированного метода оказывается ниже порогового (3.841), что свидетельствует о высокой степени незаметности, в то время как классический

LSB легко детектируется. Таким образом, разработанный метод представляет собой эффективное решение для задач, требующих надёжного и незаметного сокрытия информации в мультимедийных контейнерах.

#### Список литературы

- [1] Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография / М.: Солон-Прессо, 2009. 264 с.
- [2] Юданов Р. С. Основные методы применения стеганографии в различных областях // Тенденции развития науки и стеганографии. 2024. № 18. С. 158–160.
- [3] HEGARTY M. T. Steganography, the world of secret communications / North Charleston: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2018. 88 p.

#### 4.17. Королев В. С. Анализ производительности программ без исполнения при помощи QEMU и LLVM

Для обеспечения быстрой работы современных приложений часто применяются оптимизации, присущие определенным архитектурам, однако некоторые из них могут нарушить корректную работу на других архитектурах или привести к снижению производительности на системах, не поддерживающих конкретные расширения набора команд. Поэтому, зачастую, в процессе выполнения оптимизаций появляется необходимость проверить программу не только на конкретной микроархитектуре, но и на множестве, состоящем из различных узлов (например, на кластере). Прямое выполнение программы на всех этих устройствах, однако, не всегда желательно и практически осуществимо, так как снятие профиля может требовать развертывания приближенной к реальной среды на каждом устройстве, что может быть крайне трудоемкой задачей в случае большого количества архитектур. Также в некоторых ситуациях может быть невозможно запустить программу на реальном устройстве, например, если программа является частью системы с высокими требованиями к безопасности или если доступ к определенному оборудованию ограничен.

В результате была разработана система, позволяющая оценивать производительность программы без исполнения на каждой выбранной архитектуре. Для этого с помощью эмулятора QEMU [1] собираются листинги всех выполненных программой инструкций на одном тестовом устройстве, затем собранный листинг обрабатывается с помощью LLVM-MCA [2] — инструмента, позволяющего симулировать выполнение полученных инструкций для выбранной микроархитектуры и оценивать итоговую производительность.

По результатам экспериментальных замеров, расхождение между реальным временем выполнения и смоделированным в благоприятных условиях не превышает 2% на тестовом примере по перемножению матриц.

В ходе исследования также были выявлены определенные ограничения данного подхода, в частности, связанные с невозможностью точной симуляции сложного поведения кэш-памяти различных уровней.

*Научный руководитель — Лебедев Р. К.*

#### Список литературы

- [1] QEMU TEAM QEMU. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.qemu.org> (дата обращения 25.09.2025).
- [2] LLVM FOUNDATION LLVM-MCA — LLVM machine code analyzer. [Электронный ресурс]. URL: <https://llvm.org/docs/CommandGuide/llvm-mca.html> (дата обращения 25.09.2025).

#### 4.18. Косилов И. О. Многоагентная система сбора, хранения и обработки данных радиофизических измерений: структура слоя алгоритмов машинного обучения

Системы автоматизации научных измерений всегда традиционно создавались в монолитной архитектуре (вариант — конгломерат монолитов, «пакет программ»), пусть даже архитектура внутренней реализации монолита обладала многоуровневостью и другими признаками развитой декомпозиции [1]. Предлагается многоуровневая иерархическая архитектура для сбора, хранения и обработки радиофизических измерений, ориентированная на модульность, поэтапное развёртывание и гибкость.

В многоуровневой системе, где верхний уровень составляют БЯМ-агенты (БЯМ — большие языковые модели), а непосредственную обработку делают слои свёрточных сетей и классических МО-алгоритмов (МО — машинное обучение), возникает потенциал извлечения знаний, значительно обогащающих возможности агентов. Свёрточные сети и фильтры на уровне потоковой обработки способны выделять скрытые пространственно-временные паттерны, формы шумов, характерные пики и импульсы и частотные аномалии на панорамных спектрах, важные для диагностики и понимания физической среды. Классические МО-алгоритмы могут преобразовать эти низкоуровневые признаки в более высокоуровневые характеристики: классифицировать виды помех или источников ионосферных возмущений, распознавать неисправности прибора, выделять треки мод, оценивать параметры АЧХ радиолинии и др. Кроме того, МО-модели агрегируют контекстные признаки, такие как время суток, геофизические и метеорологические условия, состояние оборудования, последние калибровки, что позволяет связать измерения с внешними факторами и корректировать интерпретацию.

Эти признаки и характеристики передаются БЯМ-агентам как структурированная информация, позволяя строить гипотезы, проводить объяснения, делать прогнозы и планировать эксперименты. Верхний уровень системы, используя накопленную статистику, метрики и предсказания, формиру-

ет осознанные запросы к нижним уровням обработки. Таким образом реализуется адаптивный цикл, в котором низкоуровневые шаблоны из свёрточных сетей и классических МО-алгоритмов трансформируются в абстрактные признаки, обогащаются контекстной информацией, а затем используются на уровне БЯМ-агентов для более точной интерпретации, объяснения и принятия решений.

*Научный руководитель — к.т.н. Щирый А. О.*

#### Список литературы

- [1] Щирый А. О. Алгоритмы и программное обеспечение автоматизации процессов измерений и обработки данных оперативной диагностики ионосферы и ионосферных радиолоний // Журнал радиоэлектроники. 2022. № 10. DOI:10.30898/1684-1719.2022.10.4.

#### 4.19. Кремущенко П.А., Альгашев Г.А. Автоматическое подавление теней с целью минимизации их негативного влияния на работу систем компьютерного зрения

Современные системы анализа изображений и видео применяются в геоинформационных технологиях, экологическом мониторинге, инфраструктурных исследованиях и автономной навигации беспилотных систем. В этих задачах ключевую роль играют аэрофотоснимки, содержащие пространственную и визуальную информацию о наблюдаемых территориях.

Одним из наиболее серьёзных факторов, осложняющих автоматическую обработку таких изображений, являются тени объектов. Они возникают вследствие перекрытия источника света объектами и искажают внешний вид, контуры и цветовые характеристики объектов. Это снижает точность алгоритмов сегментации, детекции, построения цифровых моделей местности и распознавания объектов.

Подходы к удалению теней делятся на две группы.

Первая — физико-оптические методы. На ранних этапах применялись алгоритмы, использующие особенности цветовых пространств (HSV, YCbCr, LAB) [1]. В таких пространствах яркость и хроматичность разделены, что позволяло выделять тени как области с пониженной яркостью при сохранении цветности. Преимущества методов заключаются в их интерпретируемости и низкой вычислительной сложности.

Вторая группа включает методы глубокого обучения. С развитием нейросетевых технологий получили широкое распространение свёрточные нейронные сети, способные обучаться на больших наборах данных и автоматически выделять сложные признаки [2]. Типичным подходом является комбинирование эвристических алгоритмов (например, выделение теней по цвету и яркости) с обучаемыми архитектурами, такими как U-Net или SRGAN [3].

В рамках исследования был реализован модульный метод, включающий два этапа.

**Детекция теней.** Для обнаружения использовалась модель YOLO11s-seg [4]. Эта архитектура, являющаяся одним из современных представителей семейства YOLO, сочетает высокую скорость работы и универсальность. Для решения задачи модель была дообучена на специально подготовленном датасете аэрофотоснимков, содержащем городские, промышленные и природные сцены. Разметка теней выполнялась вручную с помощью инструмента CVAT.

**Восстановление изображений.** В качестве метода инпейнтинга применялась модель LAMA [5]. Её архитектура использует Fast Fourier Convolutions, позволяющие анализировать как локальный, так и глобальный контекст изображения. Это особенно важно для аэрофотоснимков, где часто встречаются повторяющиеся структуры (дороги, крыши, плитка, растительность).

**Физическая коррекция яркости.** Вторым подходом был реализован с помощью математических формул. На основе маски YOLO вычислялся коэффициент затухания альфа как отношение средней яркости теневой области к эталонным светлым областям. Далее выполнялось восстановление яркости пикселей только в канале  $L$  цветового пространства LAB, что позволяло сохранить исходные цветовые характеристики. Для сглаживания переходов использовалась размытие маски, исключавшее резкие границы.

Анализ результатов показал, что LaMa ориентирована преимущественно на визуальную эстетику, физические методы — на сохранение достоверности данных, а Shadow Diffusion является наиболее универсальным и перспективным подходом.

Таким образом, в работе предложена и реализована система автоматического удаления теней с аэрофотоснимков, включающая два направления: модульный метод (YOLO11 + LAMA) и физико-оптическая коррекция яркости. Разработанная система демонстрирует эффективность в задачах мониторинга, навигации беспилотных систем и геоинформационного анализа. Дальнейшие исследования целесообразно направить на обработку видеопотоков с учётом временной когерентности, адаптацию моделей к различным условиям освещения.

#### Список литературы

- [1] KAUSHIK D. N., ASHRAFUL H. S. Shadow detection and removal based on YCbCr color space // Smart Computing Review. 2014. Vol. 4. N. 1. P. 23–33.
- [2] HU X., FU C.-W., ZHU L. ET AL. Direction-aware spatial context features for shadow detection and removal // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2020. Vol. 42. N. 11. P. 2795–2808.
- [3] RONNEBERGER O., FISCHER P., BROX T. U-Net: convolutional networks for biomedical image

segmentation // Lecture Notes in Computer Science. 2015. Vol. 9351. P. 234–241.

- [4] HUSSAIN M. YOLOv5, YOLOv8 and YOLOv10: the go-to detectors for real-time vision // arXiv Preprint. 2024. arXiv:2407.02988.
- [5] SUVOROV R., LOGACHEVA E., MASHIKHIN A. ET AL. Resolution-robust large mask inpainting with Fourier convolutions // arXiv Preprint. 2021. arXiv:2109.07161.

#### 4.20. Кубракова Е.А. Устойчивые паттерны волатильности индекса iMOEX как индикатор сентимента инвесторов на фондовом рынке

В условиях высокой нестабильности финансовых рынков, обусловленной геополитическими конфликтами, санкционным давлением и макроэкономическими шоками, понимание динамики настроений инвесторов становится критически важным для управления рисками и прогнозирования рыночной конъюнктуры [1–3]. Волатильность, как ключевой индикатор страха/жадности инвесторов и рыночной неопределенности, отражает реакцию участников рынка на внешние события [4, 5]. Однако сезонные и циклические паттерны волатильности российского фондового рынка остаются малоизученными, что определяет необходимость их системного анализа.

В работе проведен анализ исторических данных по индексу iMOEX за период 2014–2024 гг. с использованием методов статистики и машинного обучения. Рассчитана историческая волатильность на основе стандартного отклонения доходностей, выполнена агрегация данных до месячной частоты. Для выявления устойчивых паттернов применен метод средней рыночной волатильности (AMVR) с ранжированием месяцев по уровню волатильности. Статистическая значимость выявленных аномалий проверена с помощью bootstrap-тестирования (1000 испытаний) с учетом поправки на множественные сравнения (p-hacking).

Обнаружены устойчивые сезонные паттерны волатильности. Наибольшая волатильность наблюдается в марте (абсолютное отклонение AMVR = 3.7), что статистически значимо (p-value < 0.05 даже после поправки на множественные сравнения). Пики волатильности совпадают с ключевыми макроэкономическими и политическими событиями (санкции 2014 г., пандемия 2020 г., события 2022 г.). Также выявлены периоды повышенной волатильности в январе, апреле, июне и ноябре, что объясняется налоговой отчетностью, ребалансировкой портфелей, дивидендными ожиданиями и фиксацией прибыли в конце года.

Волатильность индекса iMOEX демонстрирует устойчивую сезонность, что позволяет использовать её в качестве индикатора сентимента инвесторов. Выявленные паттерны могут быть интегрированы в предиктивные модели для улучшения точ-

ности прогнозов рыночной динамики. Результаты работы имеют практическую ценность для риск-менеджмента, алгоритмической торговли и разработки инвестиционных стратегий, адаптированных к особенностям российского рынка.

#### Список литературы

- [1] WHALEY R. E. The investor fear gauge // The Journal of Portfolio Management. 2000. Vol. 26. N. 3. P. 12–17.
- [2] BAKER S. R., BLOOM N., DAVIS S. Measuring economic policy uncertainty // The Quarterly Journal of Economics. 2016. Vol. 131. N. 4. P. 1593–1636.
- [3] CALDARA D., IACOVIELLO M. Measuring geopolitical risk // American Economic Review. 2022. Vol. 112. N. 4. P. 1194–1225.
- [4] ENGLE R. F. Autoregressive conditional heteroskedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation // Econometrica. 1982. Vol. 50. N. 4. P. 987–1007.
- [5] BOLLERSLEV T. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity // Journal of Econometrics. 1986. Vol. 31. N. 3. P. 307–327.

#### 4.21. Кудрявцева А.А. Распознавание текстов, сгенерированных большими языковыми моделями, с помощью сравнительного статистического анализа частотности слов

Стремительное развитие больших языковых моделей (БЯМ) и их активное внедрение в самые разные сферы — от академических исследований до школьных сочинений — обострило проблему выявления машинно-сгенерированных текстов.

Эта задача напрямую связана с вопросами академической честности и информационной безопасности, в последние годы она стала объектом интенсивных исследований, о чём свидетельствует большой поток публикаций. Один из перспективных методов решения основывается на статистическом сопоставлении характеристик текстов [1].

В рамках представленной работы проведён анализ распределения словарных частот: учитывались доля редких лексем, дисперсия распределений, а также параметры закона Ципфа — Манделъброта. Для классификации текстов по совокупности признаков применялся метод опорных векторов (для обучения было использовано 75% выборки, для тестирования — 25%).

Исследование опиралось на два набора данных. Первый корпус представлял собой базу школьных сочинений на определенную тему [2]. Для сравнения было сгенерировано 800 текстов на ту же тему с помощью локально запущенной БЯМ, квантованной до 8 бит. Сравнение показало заметные различия в распределении редких слов: классификация только по этому признаку обеспечивала точность 83.5%, а добавление пяти дополнительных признаков повысило результат до 98.5%.

Вторая база данных была взята из проекта, который занимается исследованием детектирования

ИИ-текстов [3]. На примере 1000 сочинений оказалось, что распределения редких слов у человека и модели практически совпадают: по одному признаку распознавание было верным лишь в 51.3% случаев. Тем не менее, расширение набора признаков до шести позволило существенно повысить точность классификации — до 86.2%.

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Ковалевский А. П.*

#### Список литературы

- [1] WU J., YANG S., ZHAN R. ET AL. A survey on LLM-generated text detection: necessity, methods, and future directions // arXiv Preprint. 2023. arXiv:2310.14724.
- [2] MORGAN J. The Hewlett Foundation: automated essay scoring. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kaggle.com/competitions/asap-aes/data> (дата обращения 20.09.2025).
- [3] VERMA V., FLEISIG E., TOMLIN N. ET AL. Ghostbuster: detecting text ghostwritten by Large Language Models // arXiv Preprint. 2023. arXiv:2305.15047.

#### 4.22. Кузнецов М.О. Разработка программного модуля построения 3D-моделей геопространственных объектов

Современное развитие геоинформационных систем (ГИС) и технологий трёхмерного моделирования существенно расширяет возможности пространственного анализа и визуализации данных. Одной из актуальных задач является интеграция 3D-моделирования в специализированные системы агромониторинга. Рельеф местности оказывает значительное влияние на ключевые агрономические параметры, включая водный сток, освещённость и потенциальную продуктивность земель. В данной работе разработан программный модуль, обеспечивающий автоматизированное построение трёхмерных моделей рельефа и интеграцию их в действующую ГИС агромониторинга [1].

Существует несколько подходов к созданию цифровых моделей рельефа:

- SRTM — построение модели на основе данных радиолокационной съёмки, доступной в открытых источниках. Отличается простотой и доступностью, но имеет ограниченное разрешение (30–90 м);
- интерферометрическая радиолокация (InSAR) — обеспечивает высокую точность данных, применим для анализа смещений земной поверхности, однако требует значительных вычислительных ресурсов;
- фотограмметрия — реконструкция рельефа по спутниковым или аэрофотоснимкам высокой точности. Позволяет получать детализированные модели, но требует дорогостоящего оборудования и исходных данных.

Для реализации модуля выбран метод SRTM как

наиболее доступный и подходящий для автоматизации в рамках агропроизводственных задач.

Разработанный модуль состоит из клиентской и серверной частей и интегрируется в существующую ГИС. Он выполняет обработку данных в несколько этапов: предобработка исходных данных, построение сетки высот [3], генерация проекта QGIS [2] и формирование 3D-модели в формате, пригодном для отображения в веб-интерфейсе.

Модуль был протестирован на данных агромониторинга Красноярского края. В качестве исходных данных использовались SRTM-снимки и векторные слои сельскохозяйственных полигонов. В результате тестирования модуль успешно сформировал трёхмерные модели рельефа и позволил провести анализ влияния рельефа на плодородность земель.

В ходе работы был разработан и протестирован программный модуль, позволяющий автоматически строить трёхмерные модели геопространственных объектов. Модуль интегрируется в существующие системы агромониторинга и обеспечивает наглядную визуализацию данных, что расширяет аналитические возможности и повышает точность оценки состояния сельскохозяйственных земель.

*Научный руководитель — к.т.н. Брежнев Р. В.*

#### Список литературы

- [1] Моделирование и пространственный анализ в ГИС. Цифровое моделирование трехмерных видеосцен / Под ред. Т. А. Хлебникова. Новосибирск: СГГА, 2014. 61 с.
- [2] Документация QGIS. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.qgis.org/3.40/ru/docs/index.html> (дата обращения 13.03.2025).
- [3] Документация GDAL. [Электронный ресурс]. URL: <https://gdal.org/en/stable> (дата обращения 13.03.2025).

#### 4.23. Кулясов Н.В. Применение данных метеорологических моделей для улучшения анализа временных рядов системы мониторинга воздуха

Современные системы мониторинга опираются на анализ временных рядов — данных, последовательно фиксирующих изменения во времени. Эти данные играют центральную роль в построении прогнозных моделей погоды, оценке экологических и технических показателей. Однако в реальных условиях эксплуатации распределённых систем данные часто деградируют: возникают пропуски, погрешности измерений (выбросы) и аномалии — как технического происхождения, так и вызванные экстремальными погодными явлениями. Подобные искажения затрудняют анализ, увеличивают неопределённость моделей и могут существенно снижать точность решений.

Ключевыми этапами предобработки таких данных становятся восстановление пропущенных значений и выявление аномалий. Для их решения всё

чаще применяются методы машинного обучения. Для повышения устойчивости моделей и снижения ошибки прогнозирования используется стратегия обогащения данных [1] — дополнение исходных временных рядов информацией из внешних источников.

В рамках данного исследования рассматриваются метеорологические данные, доступные в открытых источниках [2], которые могут служить для обогащения локальных метеорядов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ в рамках проекта № 24-71-10022.*

#### Список литературы

- [1] Хозяинов И. Обогащение данных — что это и почему без него никак [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/itsumma/articles/552100> (дата обращения 03.02.2025).
- [2] ZIPPEFENIG P. Open-Meteo.com weather API // Zenodo. 2023. DOI:10.5281/ZENODO.7970649.

#### 4.24. Лапушинский А.С. Разработка геоинформационной системы для автоматизированного мониторинга площадей водоемов

При наблюдении за изменениями водных объектов спутниковые данные являются одним из основных источников объективной информации. С их использованием было проведено множество исследований по оценке изменения площадей отдельных озер [1, 2]. Однако проведение подобных исследований связано со значительными трудозатратами: возникает необходимость поиска подходящих снимков, сегментации, выделения интересующего объекта и анализа полученных данных. Это ограничивает масштабы исследований и делает мониторинг больших территорий крайне ресурсоемким.

В докладе предлагается максимально автоматизировать процессы мониторинга площадей и границ водоемов с помощью разрабатываемой геоинформационной системы (ГИС). Предлагаемая ГИС позволяет пользователю выбрать интересующий его водоем и промежуток времени, после чего система постепенно находит и обрабатывает подходящие спутниковые снимки. Работа осуществляется со снимками спутников Landsat-8/9 и Sentinel-2. Обработка данных проводится с использованием методов на основе разностных спектральных индексов NDWI, MNDWI, а также алгоритма кластеризации K-Means, что позволяет проводить сравнение результатов работы этих методов.

Для разрабатываемой геоинформационной системы был создан веб-интерфейс [3], с помощью которого можно выбрать водоемы для мониторинга и посмотреть графики изменения площадей, а также результаты выделения границ водоемов.

*Научный руководитель — к.т.н. Рылов С. А.*

#### Список литературы

- [1] ЛУКЕРИНА Г. В., ЛУКЕРИН А. Ю. Водный режим озера Кулундинское Алтайского края за последние 20 лет: гидрологические, гидрохимические и экологические аспекты // Рыбное хозяйство. 2025. № 3 (3). С. 83–91.
- [2] ШКОЛЬНАЯ Ю. Г., ЕРШОВ А. В. Мониторинг водных объектов с использованием ГИС-технологий на примере озера Камыстыбас // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. 2022. № 3. С. 225–230.
- [3] РЫЛОВ С. А., ЛАПУШИНСКИЙ А. С. Геоинформационная система для автоматизированного мониторинга площадей водных объектов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2025. Т. 4. С. 46–50.

#### 4.25. Лебедев Р.К., Ситнов В.Е. Метод создания исполняемого файла Linux без машинного кода при помощи ROP

В отсутствие сетевых взаимодействий машинный код полностью определяет поведение программ и библиотек, поэтому он подвергается анализу как в рамках обратной разработки, так и в рамках проверки программы на вредоносность, например, по сигнатурам. В связи с этим возникает вопрос: может ли существовать программа, не содержащая машинного кода, но выполняющая некоторые полезные действия?

Один из наиболее известных ответов на этот вопрос был дан исследователями информационной безопасности, открывшими подход ROP (Return Oriented Programming) [1], традиционно используемый при эксплуатации переполнения стека. До появления технологий защиты NX-bit и DEP [2] полезная нагрузка атак размещалась прямо в памяти в виде машинного шелл-кода. Когда это стало невозможным, был изобретен подход ROP, суть которого состоит в сборке кода из уже загруженных в память программы фрагментов кода (например, библиотек), также называемых «гаджетами», каждый из которых заканчивается инструкцией RET, откуда и происходит название метода.

В данной работе ROP был применен для генерации исполняемых файлов ОС Linux, совершенно не содержащих машинного кода. Был реализован ROP-кодогенератор для компиляторной инфраструктуры ELVM [3], включающей компилятор языка Си 8cc, используемой обычно для эзотерических языков программирования. Для этого был отобран базис из распространенных гаджетов, реализующих необходимые инструкции: загрузку и запись в память, арифметические операции и операции управления исполнением.

Как показывает практика, поиск гаджетов может быть очень затруднительным процессом, и даже этот базис не всегда может быть найден в загруженных библиотеках. В данной работе для решения

этой проблемы предложен новый подход: поиск гаджетов во всех доступных в системе библиотеках и добавление их в список используемых исполняемым файлом, так как он находится под полным контролем.

Метод был реализован при помощи языка Python, ELVM и библиотеки LIEF. Для передачи исполнения на ROP-цепочку, размещенную в секции данных, был использован массив конструкторов DT\_INIT\_ARRAY и несколько ROP-гаджетов, вызываемых как конструкторы и реализующих загрузку нужного значения в указатель стека RSP. Программа генерируется в виде разделяемой библиотеки, которая начинает исполнение в момент загрузки, что позволяет избежать необходимости получения разрешения на исполнение файла.

Тестирование метода осуществлялось против систем проверки целостности исполняемых файлов Linux IMA, DIGSIG, а также систем блокировки исполнения AppArmor и опции mount noexec. В результате тестирования выявлена абсолютная эффективность метода против всех упомянутых систем, что указывает на важность разграничения доверенного и недоверенного кода при их реализации.

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

#### Список литературы

- [1] SHANAM H. The geometry of innocent flesh on the bone: return-into-libc without function calls (on the x86) // Proceedings of 2007 ACM Conference on Computer and Communications Security. ACM, 2007. P. 552–561.
- [2] LITCHFIELD D. Buffer underruns, DEP, ASLR and improving the Exploitation Prevention Mechanisms (XPMs) on the Windows platform. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.nccgroup.com/media/olvmmhpa/\\_xpms.pdf](https://www.nccgroup.com/media/olvmmhpa/_xpms.pdf) (дата обращения 19.09.2025).
- [3] EsoLangVM compiler infrastructure. [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/shinh/elvm> (дата обращения 19.09.2025).

#### 4.26. Мадьяров К. ML-конвейер для прогнозирования и выявления погодных причин аварийных ситуаций на линиях электропередач

Выявление причин и прогнозирование сбоев объектов критической инфраструктуры, в том числе линий электропередач, является важной задачей не только для обеспечения их стабильной работы, но и для повышения эффективности деятельности страховых компаний.

При использовании методов машинного обучения для решения данной задачи в настоящее время можно выделить две особенности. Во-первых, при оценках эффективности прогнозирования специалисты, зачастую, ограничиваются только метриками качества классификации, такими как accuracy, precision, recall, F1-мера и ROC-AUC. Однако для сопоставления моделей в условиях реальной эксплуатации

важно учитывать и ресурсные показатели, включающие время обучения и пиковое потребление ОЗУ. Во-вторых, могут встречаться «засоры» и неоднородности датасетов, используемых для обучения, что может приводить к снижению качества моделей и появлению ложных связей.

Для решения обозначенных проблем в настоящей работе предлагается схема построения ML-конвейера, включающего модель машинного обучения с автоматизированным подбором гиперпараметров в Optuna и интерпретацию результатов посредством SHAP-анализа [1], позволяющую выявить ключевые погодные факторы риска (скорость ветра, атмосферное давление и относительную влажность). Для устранения дисбаланса классов применено взвешивание классов (модель уделяет больше внимания редким событиям) вместо синтетического увеличения выборки.

ML-конвейер апробирован на открытом датасете из Kaggle, в котором применены данные об энергокомплексе Краснодарского края [2]. Для обучения конвейера объединены открытые архивные данные об авариях ЛЭП (2012–2019 гг.) и почасовые метеоданные восьми станций. Числовые и категориальные (выраженные не числом, а меткой) данные агрегированы до временного шага в 1 час. Данные характеризуются сильным дисбалансом классов, поскольку аварийные ситуации достаточно редки.

Эксперименты показали, что наибольшую эффективность ML-конвейер дает при использовании модели CatBoost, достигшей наивысшего значения ROC-AUC  $\approx 0.71$  при полноте 0.61 на тестовых данных (базовый порог 0.5). При этом CatBoost продемонстрировала и наилучшее соотношение качество/ресурсы.

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Пестунов А. И.*

#### Список литературы

- [1] LUNDBERG S. SHAP latest documentation. [Электронный ресурс]. URL: <https://shap.readthedocs.io/en/latest> (дата обращения: 11.05.2024).
- [2] СУСЛОВ А. Accidents on the energetical objects. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kaggle.com/code/suslovaalexey/accidents-on-the-energetical-objects> (дата обращения: 10.09.2024).

#### 4.27. Масеевский А.М. Разработка модели холодильной машины МХ-220 для верификации алгоритма управления на языке roST

В связи с усложнением технологических процессов, ростом требований к их качеству и безопасности и развитием цифровых технологий управления, остро стоит вопрос совершенствования подходов к разработке управляющих программ, отладке и верификации управляющих алгоритмов.

В ИАиЭ СО РАН активно разрабатываются технологии и инструментальные средства созда-

ния управляющих программ, в частности, язык процесс-ориентированного программирования для программируемых логических контроллеров (ПЛК) poST [1], который является расширением языка Structured Text стандарта IEC 61131-3. Был разработан и реализован программный комплекс для удалённого запуска и визуализации управляющих алгоритмов и моделей объектов управления, написанных на языке poST. Его целью является запуск и отладка алгоритмов управления без использования реального оборудования [2]. В комплекс входят 2 виртуальных ПЛК, слой обмена данными между ними, графический интерфейс оператора и модуль визуализации [3]. Комплекс был протестирован на ряде простых моделей и продемонстрировал свою работоспособность. Следующий шаг — тестирование комплекса с использованием более сложных моделей и добавление модуля динамической верификации управляющих алгоритмов.

В качестве объекта моделирования была выбрана трёхконтурная холодильная машина MX-220, разработка и верификация управляющего алгоритма для которой входит в проект Национального геофизического комплекса РАН [4]. Была разработана система идентификации управляющих элементов, конструктивных параметров и сенсоров, которая из названия позволяет понять их тип, месторасположение и модели принципиальных элементов: охлаждения потребителя, бака-аккумулятора, испарителя, компрессора, дросселя, конденсатора, трёхходового клапана и вентиляции.

*Научный руководитель — д.т.н. Зюбин В. Е.*

#### Список литературы

- [1] ZYUBIN V. E., ROZOV A. S., ANUREEV I. S. ET AL. poST: a process-oriented extension of the IEC 61131-3 structured text language // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 35238–35250.
- [2] МАСЕЕВСКИЙ А. М. Архитектура виртуального лабораторного практикума для обучения созданию алгоритмов управления // Математическое и компьютерное моделирование : сборник материалов XI Международной научной конференции, посвященной памяти В. А. Романькова, Омск, 15 марта 2024 г. Омск: Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, 2024. С. 170–172.
- [3] LEE K., MASEEVSKY A., ZYUBIN V. Visualization of plant simulators in virtual training kit for poST language // 2024 IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). IEEE, 2024. P. 467–472.
- [4] ВАСИЛЬЕВ Р. В., АРТАМОНОВ М. Ф., БЕЛЕЦКИЙ А. Б. и др. Научные задачи оптических инструментов Национального геофизического комплекса // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6. С. 105–122.

#### 4.28. Мухамад И. Оптимизация траектории БПЛА с использованием иерархической кластеризации и глубоких Q-сетей

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в настоящее время приобретают всё более важное значение для различных сфер использования, включая мониторинг состояния окружающей среды, доставку и другие [1]. Эксплуатация БПЛА изначально ограничена энергетическими и вычислительными ресурсами. Для преодоления этих ограничений, в ряде исследований были предложены как математические аппроксимации для решения неконвексных задач [2], так и алгоритмы, основанные на методах искусственного интеллекта (ИИ) [3, 4]. Следует отметить, что ИИ-ориентированные подходы наиболее эффективны в условиях динамически изменяющейся внешней среды.

Настоящая работа направлена на разработку метода определения оптимальной траектории БПЛА при облёте множества заранее заданных точек маршрута. Основной целью является максимизация числа достигнутых точек при учете энергетических ограничений. Ключевой вклад исследования заключается во внедрении метода кластеризации, позволяющего существенно снизить размерность задачи за счёт декомпозиции исходной постановки на совокупность более компактных и управляемых подзадач.

Задача БПЛА заключается в облёте набора точек маршрута  $M$  при ограничении энергетического бюджета  $E_{\max}$ . Время полёта  $T$  дискретизируется на  $N$  интервалов фиксированной продолжительности, при этом положение БПЛА в момент времени  $t^i$  обозначается как  $q[i]$ . Для каждой точки маршрута  $m \in M$  и временного интервала  $i$  вводится индикаторная функция  $k_m[i]$ , определяющая, была ли достигнута данная точка БПЛА  $U$  в процессе выполнения поставленной задачи. Дополнительно для каждой точки  $m$  определяется бинарная переменная  $k_m$ , отражающая факт её достижения:

$$k_m = \sum_{i=1}^N k_m[i].$$

Оптимизационная задача формулируется следующим образом:

$$(\mathbb{P}1) : \max_{\mathcal{Q}} \sum_{m \in M} k_m$$

$$\text{при условии: } E(q[i]) \leq E_{\max}, \quad (1)$$

$$q[1] = q_s, \text{ и } q[N] = q_e, \quad (2)$$

$$\|q[i+1] - q[i]\| \leq \Delta^t v_m, \quad (3)$$

$$k_m \leq 1, \forall m \in M, \quad (4)$$

где  $\mathcal{Q}$  — множество позиций БПЛА;  $E$  — потреблённая энергия;  $q_s$  — начальная позиция;  $q_e$  — конечная точка маршрута;  $\Delta^t$  — длительность каждого временного интервала;  $v_m$  — максимальная скорость

БПЛА. Целью рассматриваемой задачи оптимизации  $\mathbb{P}1$  является максимизация числа достигнутых точек. При этом: условие (1) гарантирует, что суммарные энергозатраты не превышают максимально допустимого значения  $E_{\max}$ ; ограничение (2) фиксирует начальное положение БПЛА  $q_s$  и конечную точку маршрута  $q_e$ ; условие (3) ограничивает скорость движения, не позволяя превышать значение  $v_m$ ; наконец, ограничение (4) обеспечивает, что каждая контрольная точка может быть достигнута не более одного раза.

Для снижения вычислительной сложности применяется метод иерархической кластеризации. Точки маршрута группируются в кластеры  $\mathcal{C} = \{\mathcal{C}_1, \mathcal{C}_2, \dots, \mathcal{C}_J\}$  на основе порогового значения максимального расстояния  $d_{\max}$ . Такая декомпозиция преобразует исходную задачу  $\mathbb{P}1$  в набор подзадач  $\mathbb{P}1 = \{\mathbb{P}1_1, \mathbb{P}1_2, \dots, \mathbb{P}1_J\}$ , каждая из которых оптимизирует траекторию внутри отдельного кластера. На следующем этапе используется иерархическая глубокая Q-сеть (DQN), включающая два уровня управления:

- 1) политика верхнего уровня ( $\pi_0$ ) определяет выбор очередного кластера  $\mathcal{C}_j$  для исследования на каждом этапе миссии;
- 2) политика нижнего уровня ( $\pi_1$ ) функционирует в пределах выбранного кластера  $\mathcal{C}_j$ , определяя последовательность достижения конкретных точек маршрута для максимизации результата внутри данного кластера.

Результаты имитационного моделирования подтвердили превосходство предложенного подхода по сравнению с традиционным методом DQN, что позволяет БПЛА формировать оптимальную траекторию приблизительно за 100 эпизодов обучения. В качестве направлений дальнейших исследований целесообразно рассмотреть влияние дополнительных факторов внешней среды, включая погодные условия и сценарии совместного функционирования нескольких БПЛА.

#### Список литературы

- [1] JIANG X., SHENG M., ZHAO N. ET AL. Green UAV communications for 6G: a survey // Chinese Journal of Aeronautics. 2022. Vol. 35. N. 9. P. 19–34.
- [2] SAMIR M., SHARAFEDDINE S., ASSI C. M. ET AL. UAV trajectory planning for data collection from time-constrained IoT devices // IEEE Transactions on Wireless Communications. 2020. Vol. 10. N. 1. P. 34–46.
- [3] AMRALLAH A., MOHAMED E. M., TRAN G. K. ET AL. UAV trajectory optimization in a post-disaster area using dual energy-aware bandits // Sensors. 2023. Vol. 23. N. 3. Art. 1402.
- [4] QIN Z., ZHANG X., ZHANG B. ET AL. The UAV trajectory optimization for data collection from time-constrained IoT devices: a hierarchical deep q-network approach // Applied Sciences. 2022. Vol. 12. N. 5. Art. 2546.

#### 4.29. Мучин М.П., Бородин М.Р., Белосков М.Е. Гибридные системы позиционирования и мониторинга для повышения устойчивости промышленных телекоммуникаций

В современных промышленных телекоммуникационных системах обеспечение устойчивости к сбоям, кибератакам и внешним воздействиям является ключевой задачей, особенно в условиях Индустрии 4.0. В настоящее время авторами прорабатывается уровень исследования по данной теме, включая анализ существующих подходов. Тема в целом активно изучается: например, имеются работы по сегментации сетей ИТ/ОТ, использованию ИИ для обнаружения аномалий, виртуализации для повышения пропускной способности, а также по дистанционному зондированию в УВЧ-диапазоне и indoor-геопозиционированию по Wi-Fi RSSI. Актуальность обусловлена ростом зависимости от цифровых сетей в производстве, где сбои приводят не только к простоям и финансовым потерям, но и к рискам для безопасности персонала, цепочек поставок и экосистем в целом. По данным исследований, Индустрия 4.0 усиливает уязвимости из-за интеграции IoT и 5G, требуя повышения гибкости, надежности и оперативности реагирования на угрозы, такие как кибератаки, природные катастрофы или перебои в энергоснабжении [1].

Авторами планируется разработка гибридного подхода, интегрирующего информационные технологии для повышения устойчивости телеком-систем в производственной среде, дистанционное зондирование в УВЧ-диапазоне для мониторинга внешней инфраструктуры и indoor-геопозиционирование по Wi-Fi на основе уровня RSSI для локализации внутри помещений. Предлагается создать единую систему, сочетающую эти технологии для полного покрытия: УВЧ-зондирование для outdoor-мониторинга внешней среды и активов, Wi-Fi RSSI для indoor-локализации персонала и оборудования, а также ИТ для общей устойчивости через оценку KPI, включая показатели совместимости систем и снижения рисков. Это позволит минимизировать интерференцию сигналов, повысить адаптивность и потенциально снизить простои на 20–50% через улучшенный мониторинг и предиктивное обслуживание.

Предполагается использование децентрализованных структур на базе облачных вычислений, блокчейна и цифровых двойников для безопасного обмена данными; методов DInSAR и RFID в УВЧ-диапазоне (300 МГц – 3 ГГц) для отслеживания активов с точностью нескольких метров; моделей машинного обучения, таких как трилатерация на базе ESP32 или нейронные сети FasterKAN, для достижения точности indoor-позиционирования от 1 до 5–8 м. Перспективы включают интеграцию с 5G, ML для обработки данных и IoT-устройствами

для автоматизации.

Существуют положительные примеры применения подобных подходов: в логистике и транспорте интеграция УВЧ-зондирования с ИТ, как в случае с DInSAR для мониторинга железнодорожной инфраструктуры, снижает риски повреждений; в здравоохранении Wi-Fi RSSI с ML, например, в зонированных системах для «умных фабрик» (smart factories), оптимизирует навигацию и управление активами; в промышленности гибридные системы, такие как комбинация Wi-Fi RSSI с UWB для точного позиционирования в производственных зонах, повышают устойчивость сетей к угрозам; в телекоммуникациях 5G-гибридные решения для мониторинга цепочек поставок обеспечивают резилентность к сбоям в критических инфраструктурах. Предполагается, что данная разработка может быть использована, например, в нефтегазовой отрасли для мониторинга трубопроводов, в автомобильном производстве для отслеживания активов на заводах или в энергетике для предиктивного обслуживания сетей.

#### Список литературы

- [1] Агафонов С. Ю., Сиверс М. А. Интеграция спутниковых радионавигационных систем и систем позиционирования внутри помещения // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 2. С. 36–42.

#### 4.30. Намаконов А.Ю. Применение алгоритмов компьютерного зрения для поиска объектов мобильной роботизированной платформой

Повышение автономности мобильных роботов, особенно в условиях городской инфраструктуры, напрямую зависит от точного распознавания дорожных знаков. Автоматизация этого процесса с помощью алгоритмов компьютерного зрения остается актуальной научно-практической проблемой, критически важной для обеспечения безопасности и точности навигации.

Целью данной работы является разработка алгоритмов идентификации дорожных знаков и управления автономным робототехническим комплексом для повышения точности навигации и безопасности в реальных дорожных условиях.

В качестве основы использована роботизированная платформа TurtleBro [1]. Для решения задачи детектирования и классификации знаков был применен алгоритм YOLOv8, демонстрирующий высокую скорость и точность в задачах реального времени [2].

Для обучения модели использовался набор данных RTSD с российскими дорожными знаками. Датасет содержит видеок cadры (5 fps, разрешение  $1280 \times 720$  —  $1920 \times 1080$ ), снятые в различных условиях: разные сезоны, время суток и погодные условия (дождь, снег, яркое солнце) [3].

В данной работе было проведено сравнение различных архитектур нейронных сетей. Обучена модель на собранном датасете дорожных знаков и протестирована на другом датасете [4]. Результаты тестирования представлены в таблице:

mAP@0.5	mAP@0.5:0.95	Precision	Recall
0.923	0.687	0.912	0.859

Разработана программа, обрабатывающая видеопоток, идентифицирующая знаки и выбирающая необходимые команды для управляющего воздействия.

Предложенное решение показывает возможность построения автономной системы навигации на основе машинного зрения и может быть применено в задачах логистики, сервисной робототехники и системах контроля автономного движения роботизированных платформ.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ИГУ для молодых ученых № 091-25-302.*

*Научный руководитель — к.т.н. Вшивков Ю. Ф.*

#### Список литературы

- [1] TurtleBro [Электронный ресурс]. URL: <https://voltbro.ru/turtlebro> (дата обращения 19.09.2025).
- [2] YOLO DOCUMENTATION [Электронный ресурс]. URL: <https://yolo-docs.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения 19.09.2025).
- [3] RTSD: RUSSIAN TRAFFIC SIGN IMAGES DATASET [Электронный ресурс]. URL: <https://datasetninja.com/russian-traffic-sign> (дата обращения 19.09.2025).
- [4] RUSSIAN\_ROAD\_SIGNS\_DATASET [Электронный ресурс]. URL: [https://github.com/vezhichenko/russian\\_road\\_signs\\_dataset](https://github.com/vezhichenko/russian_road_signs_dataset) (дата обращения 19.09.2025).

#### 4.31. Обершт С.Д. Цифровой словарь лексических комбинаций поэтического текста: подходы к разработке программного инструмента

Изучение внутритекстовых связей в поэтическом тексте является одной из актуальных задач в литературоведческих и лингвистических исследованиях. Наличие в поэтическом тексте четкой структуры уровней стиха и связей между ними усложняет многомерный анализ текстов, особенно когда речь идет об обработке корпусов большого объема [1].

Помимо извлечения специфичной лексики в филологических задачах актуально исследование языковых структур в поэтическом тексте, существование которых обусловлено несколькими уровнями факторов: 1) общеязыковыми особенностями; 2) традициями, заимствованиями, рефлексией в языке и 3) языковыми особенностями автора, связанными с его писательским сознанием и психологией творчества. Понятие лексических комбинаций введено авторами работы [2] с целью иссле-

дования влияния каждого аспекта и их разделения между собой. Лексические комбинации представляют собой набор слов, повторяющихся рядом друг с другом в разных фрагментах текста или в разных произведениях; такая структура учитывает «вертикальные», а не «горизонтальные» связи лексем внутри поэтического текста и между различными произведениями, позволяя выявлять скрытые и неочевидные особенности, характерные для стиля того или иного автора и поэтического языка в целом. В таком аспекте использование современных информационных технологий обработки естественного языка представляется адекватным решением при разработке инструмента, направленного на хранение, структуризацию, анализ текстовых данных и представление результатов в виде электронного словаря.

Аналитический обзор последних исследований в области лингвистики, литературоведения и филологии показал необходимость создания цифрового словаря лексических комбинаций — программного инструмента обработки больших корпусов поэтических текстов, направленного на извлечение лексических комбинаций и позволяющего использовать полученный материал в дальнейшем анализе. В работе рассмотрены основные подходы к составлению словарей для широкого круга задач компьютерной лингвистики и предложен подход к разработке цифрового словаря лексических комбинаций.

*Научный руководитель — д.т.н. к.филол.н. Гаваенко О. Ю.*

#### Список литературы

- [1] Кожемякина О. Ю. Программная система комплексного анализа русских поэтических текстов: модели и алгоритмы: дис. ... д-ра техн. наук. СибГУТИ, Новосибирск, 2022. 34 с.
- [2] Павлова Л. В., Романова И. В., Самойлова Т. А. Решение филологических проблем с помощью программного комплекса «Гипертекстовый поиск слов-спутников в авторских текстах» // Известия Смоленского государственного университета. 2013. № 2 (22). С. 314–323.

#### 4.32. Овсянников И. В. Использование камер видеонаблюдения для мониторинга атмосферных осадков с применением сверточных нейронных сетей

Традиционные методы регистрации атмосферных осадков, в том числе с использованием стационарных метеорологических станций, обеспечивают высокую точность измерений, однако характеризуются ограниченным пространственным покрытием [1]. Современные достижения в области компьютерного зрения и анализа больших данных открывают новые возможности для повышения качества и скорости обнаружения осадков [2].

В докладе предлагается использовать камеры наружного видеонаблюдения в качестве визуальных

датчиков для автоматического выявления атмосферных осадков. Разработанная система применяет методы классификации изображений, основанные на алгоритмах машинного и глубокого обучения. Использование сверточных нейронных сетей семейства EfficientNet позволило достичь высокого качества классификации изображений по метрике F1, достаточного для построения надежной системы мониторинга [3]. Создана информационная система — веб-сервис, обеспечивающий визуализацию данных и отслеживание появления осадков в режиме реального времени на основе предсказаний модели.

Полученные результаты демонстрируют потенциал использования существующей инфраструктуры видеонаблюдения как основы для построения распределенной системы мониторинга осадков без необходимости установки специализированного оборудования. Обсуждаются перспективы применения подобного подхода для краткосрочного прогнозирования и интеграции в инфраструктуру «умного города».

*Научный руководитель — к.т.н. Рылов С. А.*

#### Список литературы

- [1] PAZ I., TCHIGUIRINSKAIA I., SCHERTZER D. Rain gauge networks' limitations and the implications to hydrological modelling highlighted with a X-band radar // Journal of Hydrology. 2020. Vol. 583. Art. 124615.
- [2] ZHOOLIDEN HAGHIGHI M. H., GHASRIMANESH A., KHOSROSHANI H. Deep learning-based identification of precipitation clouds from all-sky camera data for observatory safety // arXiv e-prints. 2025. arXiv:2503.18670.
- [3] Овсянников И. В., Рылов С. А. Использование камер наружного наблюдения для мониторинга осадков // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2025. Т. 4. С. 40–45.

#### 4.33. Орехова Д. А. Определение параметров работы ИИ-помощника в ГИС

Основа информационного обеспечения геоинформационных систем (далее ГИС) — пространственные данные. Современные требования для работы с пространственной информацией предполагают внедрение ИИ-помощника. Это позволяет получать аналитические данные быстрее, обеспечивать более высокую автоматизацию, прогнозирование и оптимизацию [1, 2]. Пользователь может «разговаривать с картами», получая информацию в режиме реального времени.

Для построения диалога между пользователем и геоинформационной системой, при использовании ИИ-помощника, вводятся следующие обязательные наборы данных:

- наборы данных самой ГИС;
- собственные наборы данных пользователя;
- данные, находящиеся в открытом доступе [3].

В качестве параметров, влияющих на представление ответа на запрос пользователя, автором предлагается ввести следующие:

- классификация пользователей;
- набор рабочих областей в динамических, пространственных и временных границах [4].

Для описания процесса классификации пользователя с использованием ИИ-помощника предлагается модель:  $\langle F, A, S_F \rangle$ , где  $F$  — множество классов пользователей;  $A$  — матрица потерь информативности размерности  $|F| \times |F|$ , в которой  $a_{ij}$  есть потеря информативности при ошибочном отнесении к классу  $f_j$  пользователя, принадлежащего классу  $f_i$ ;  $S_F$  — нечеткая ситуационная модель, описывающая возможности перехода между различными классами при изменении параметров поведения пользователя.

Описанная модель позволяет ввести адаптивную процедуру классификации, заключающуюся в выборе в заданный момент времени такого класса, чтобы отклонение было минимальным.

Так как рабочая область является зоной работы пользователя с пространственными данными, то в нее входит множество примитивов, описывающих фрагмент карты с границами  $L = (W, S, T)$ , где  $W$  — семантическая,  $S$  — пространственная,  $T$  — временная границы [4].

Тогда полные информационные ресурсы ГИС представляются как сумма рабочих областей.

Таким образом, пространственные данные ИИ-помощнику удобно определить как совокупность рабочих областей.

Использование концепции рабочей области позволяет систематизировать информационные ресурсы ГИС, а также смоделировать пространственные, временные и семантические границы исходя из динамики пространственных данных.

Использование ИИ-помощников активно внедряется в работу ГИС, ориентированных на принятие решений. Классификация пользователя и модель рабочей области дают возможность получать быстрые и точные ответы, адаптировать систему под конкретного пользователя.

#### Список литературы

- [1] АББАСОВ М. Ш. Применение искусственного интеллекта в системе поддержки принятия управленческих решений // Развитие теории и практики управления социальными и экономическими системами. 2022. № 11. С. 85–89.
- [2] АНИКЬЕВА Э. Н., КУВАРДИН С. Р. Искусственный интеллект для принятых решений // Наука и образование. 2022. № 2. С. 205–210.
- [3] ЗУБ А. Т., ПЕТРОВА К. С. Искусственный интеллект в корпоративном управлении: возможности и границы применения // Государственное управление. Электронный вестник. 2022. № 94. С. 173–187.
- [4] ОРЕХОВА Д. А. Разработка и исследование метода динамического представления пространственных

данных в геоинформационных системах: дис. ... канд. техн. наук. ИТА ЮФУ, Таганрог, 2013. 128 с.

#### 4.34. Пермяшкин Д.А. Анализ методов анализа программ на конфликты за общие ресурсы для процесс-ориентированных программ

В современном мире любое производство включает в себя автоматизацию большей части процессов. Связан данный факт с тем, что управление процессами и станками возможно только в автоматическом режиме. Человек же обычно является оператором, чья функция сводится ко включению/выключению производства в штатном режиме и к управлению установкой в гипервизорном режиме в случаях сбоев в производственных процессах по какой-либо причине.

В дополнение к этому уже 10 лет существует Индустрия 4.0. Одна из ее целей — исключить человека как управляющее звено. Для достижения этого требуются на этапе проектирования проработать как можно больше возможных сценариев отказа. Для достижения этого требуются специализированные средства с возможностью внедрения в интегрированные среды разработки ПО для микроконтроллеров.

Для технологической поддержки создаются различные языки программирования. Например, процесс-ориентированная парадигма, рассматриваемая в данном докладе. Она была разработана в ИАиЭ СО РАН для описания производственных кибер-физических систем, и успешно апробирована на реальных системах. Основным преимуществом данной парадигмы является описание программы, как большого числа параллельно исполняющихся процессов, что идеально отображает реальные производственные процессы в системе. Но это увеличивает шанс конфликтов из-за большого числа активных исполнителей, взаимодействующих с одними и теми же ресурсами.

Проблема конфликтов за общие ресурсы в параллельных программах исследуется с 1966 года и в общем случае хорошо изучена. При этом некоторые исследователи отмечают недостаток работ в области промышленной автоматизации и применимости методов [1]. В данной работе приведен сравнительный анализ существующих методов, применительно к процесс-ориентированной парадигме. Поскольку работ, применимых конкретно к процесс-ориентированной парадигме, не было обнаружено, фокус был выбран на работах, применимых к языкам стандарта IEC-61131, поскольку существуют трансляторы для процесс-ориентированных программ в данные языки.

Были выделены следующие критерии для сравнения готовых реализаций:

- поддерживаемые языки;

- удобство использования;
- число находимых сценариев;
- скорость работы на разных программах.

Анализ показал, что на данный момент не существует открытых готовых реализаций, подходящих для языков стандарта IEC-61131. Существуют либо научные работы, которые приводят результаты своих реализаций, но сам анализатор недоступен [1], либо программы (наподобие plcVerif [2]), которые требуют написания списка своих правил, привязанных к конкретной программе.

Как следствие, необходимо разработать программные комплексы промышленной автоматизации для проработки как можно большего числа возможных сценариев отказа на этапе написания управляющей программы.

*Научный руководитель — д.т.н. Зюбин В. Е.*

#### Список литературы

- [1] PRENOFER H. ET AL. Static code analysis of IEC 61131-3 programs: comprehensive tool support and experiences from large-scale industrial application // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2016. Vol. 13. N. 1. P. 37–47.
- [2] DARVAS D., BLANCO E., FERNANDEZ ADIEGO B. Transforming PLC programs into formal models for verification purposes. [Electronic resource]. 2013. URL: <https://cds.cern.ch/record/1629275>.

#### 4.35. Пименова И.А., Матвеева И.А. Роль количества компонент MCR-ALS в классификации SERS-спектров сыворотки крови при ХСН

Диагностика сердечно-сосудистых заболеваний зачастую связана с необходимостью использования сложных и дорогостоящих методов, что ограничивает ее широкое применение, особенно в рамках регулярных медицинских осмотров. В связи с этим актуальным направлением является разработка новых методов диагностики, в частности на основе рамановской спектроскопии [1].

Рамановская спектроскопия позволяет получать спектральную информацию о молекулярном составе сложных биологических образцов, включая сыворотку крови, что делает ее мощным инструментом для выявления биохимических изменений, связанных с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Основной целью исследования является разработка эффективного подхода, который сочетает преимущества рамановской спектроскопии с интеллектуальными методами обработки данных для создания автоматизированной системы диагностики ХСН.

В данной работе использовались *in vitro* спектры сыворотки крови, полученные с применением технологии поверхностно-усиленной рамановской спектроскопии (SERS), подробно описанной в [2]. Всего проанализировано 229 образцов, из которых 180

принадлежали пациентам с подтвержденной ХСН, а 49 — контрольной группе. Для выделения информативных признаков из спектральных данных сыворотки крови использовался метод разрешения многомерных кривых (MCR-ALS), который позволяет снизить размерность данных, сохраняя ключевые компоненты спектров и предотвращая потерю информации.

В рамках данного исследования использовались следующие алгоритмы машинного обучения: логистическая регрессия, метод опорных векторов, случайный лес и градиентный бустинг. Это позволило провести классификацию контрольной группы и пациентов с ХСН. В данном подходе концентрации каждого отдельного компонента, выделенные в исследуемых образцах, служат в качестве признаков для последующей классификации. Поскольку количество выделяемых компонент напрямую влияет на информативность признакового пространства, для снижения риска переобучения был проведен сравнительный анализ моделей с разным числом компонент (от 3 до 12).

Сравнение различных алгоритмов машинного обучения показало, что точность классификации образцов сыворотки крови сильно зависит от типа классификатора и количества компонент, выделенных методом MCR-ALS. Наибольшая точность (Accuracy =  $0.84 \pm 0.06$ ) достигнута при использовании классификатора случайный лес с 12 компонентами, который также показал стабильно высокие значения AUC ( $0.72 \pm 0.10$ ). Метод опорных векторов продемонстрировал наивысшую дифференцирующую способность при использовании 8 и 10 компонент (AUC =  $0.80 \pm 0.12$  и  $0.80 \pm 0.15$  соответственно), однако при других значениях числа компонент наблюдалась существенная вариабельность результатов (AUC от 0.50 до 0.61). Логистическая регрессия показала стабильные, но несколько более низкие результаты с максимальным AUC =  $0.68 \pm 0.12$  при 10 компонентах. Градиентный бустинг достиг пиковых значений Accuracy =  $0.80 \pm 0.05$  и AUC =  $0.70 \pm 0.16$  при использовании 12 и 10 компонент соответственно.

Полученные результаты подтверждают важность оптимизации количества компонент MCR-ALS для каждого конкретного алгоритма машинного обучения и указывают на перспективность использования комбинации MCR-ALS с методом опорных векторов (8–10 компонент) и случайным лесом (12 компонент) для задач диагностики ХСН по SERS-спектрам сыворотки крови.

#### Список литературы

- [1] ATKINS C. G., BUCKLEY K., BLADES M. W., TURNER R. F. Raman spectroscopy of blood and blood components // Applied Spectroscopy. 2017. Vol. 71. N. 5. P. 767–793.
- [2] AL-SAMMARAIIE S. Z., BRATCHENKO L. A., ТУРКОВА Е. N. ET AL. Silver nanoparticles-based

substrate for blood serum analysis under 785 nm laser excitation // J-BPE. 2022. Vol. 81. N. 1. Art. 010301.

#### 4.36. Полевода М.А., Лёзина И.В. Исследование цветового разнообразия в изображениях и моделях колоризации

Рассматривается задача оценки разнообразия цветов в наборах изображений для колоризации и влияния распределений данных на результаты обученных моделей. Исследование направлено на выявление спектральных смещений и сопоставление их для эталонных данных и предсказаний. Использовались наборы данных Food101 [1] и COCO [2], а также обученная на них сеть U-Net [3].

Реальные наборы изображений имеют выраженный перекося в теплый (оранжево-красный) спектр оттенков. Обученные на таких данных модели воспроизводят и усиливают этот перекося, что приводит к уменьшению представленности холодных оттенков. Наличие смещения в красные тона ранее отмечалось в работе по применению моделей U-Net в колоризации [4], что послужило мотивацией настоящего исследования.

Задача формулируется следующим образом. Пройти по всем изображениям исходного набора данных и для каждого вычислить цветовые метрики. Затем тем же способом обработать изображения, полученные от обученной на этих наборах данных модели. Далее сравнить полученные значения метрик для данных и моделей и оценить, усиливается ли теплый перекося.

Подсчет метрик включает преобразование изображений в CIE LAB и построение гистограмм оттенка с учетом цикличности. Выделяется «красный клин» шириной около 30 градусов вокруг 0. Внутри него рассчитываются доля пикселей  $p_{\text{red}}$  и асимметрия распределения внутри сектора. Для сопоставления с компонентной осью используется  $\Delta a^* = a_{\text{pred}}^* - a_{\text{gt}}^*$  с оценкой среднего и медианы.

Полученные значения подтверждают наличие теплового перекося. В эталонных данных доля красного сектора составляет  $p_{\text{red,gt}} \approx 0.269$ . В предсказаниях одной из моделей зафиксировано  $p_{\text{red,pred}} \approx 0.314$  при  $\Delta p_{\text{red}} \approx 0.045$  и отношении  $p_{\text{red,pred}}/p_{\text{red,gt}} \approx 1.17$ , что указывает на усиление теплой доминанты. По оси  $a^*$  наблюдается систематическое отличие: среднее  $\Delta a^*$  лежит в интервале от  $-1.29$  до  $-0.97$ , медиана — от  $-0.54$  до  $-0.32$ ; это фиксирует стабильный сдвиг по красно-зеленой компоненте, а в сочетании с ростом  $p_{\text{red}}$  указывает на усиление теплового спектра. В «красном клине» все значимые пики сосредоточены в одном поддиапазоне, тогда как в остальной части сектора значимых бинов нет. Суммарная доля пикселей в этих бинах составляет порядка 0.314.

Проведенный анализ демонстрирует, что теплый перекося, присутствующий в данных, передается и

усиливается моделями, сопровождаясь сужением палитры и потерей цветового разнообразия.

#### Список литературы

- [1] BOSSARD L., GUILLAUMIN M., VAN GOOL L. Food-101 — mining discriminative components with random forests. [Электронный ресурс]. URL: [https://data.vision.ee.ethz.ch/cvl/datasets\\_extra/food-101](https://data.vision.ee.ethz.ch/cvl/datasets_extra/food-101) (дата обращения: 10.09.2025).
- [2] LIN T.-Y., MAIRE M., BELONGIE S. ET AL. COCO — common objects in context. [Электронный ресурс]. URL: <https://cocodataset.org> (дата обращения: 10.09.2025).
- [3] RONNEBERGER O., FISCHER P., BROX T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation. [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/abs/1505.04597> (дата обращения: 10.09.2025).
- [4] Полевода М.А., Лёзина И.В. Исследование применения свёрточных нейронных сетей для решения задачи колоризации изображений // Международная научно-практическая конференция «Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и использования». [Электронный ресурс]. URL: <https://cloud.mail.ru/stock/36W6r6fxStsx7DBUwapQxHyт> (дата обращения: 10.09.2025).

#### 4.37. Поляков И.А. Разработка базы знаний субъектно-ориентированной СППР

Система поддержки принятия решений (СППР) — это компьютерная информационная система, которая помогает акторам анализировать данные и принимать решения в сложных, слабо структурированных ситуациях. Она не принимает решения вместо человека, а предоставляет ему инструменты, модели и информацию для более обоснованного выбора [1]. Субъектно-ориентированная СППР является модернизированной классической СППР, где в центре внимания находится не просто задача, а сам субъект (человек или группа людей), который принимает управляющие решения в проблемной ситуации. Ключевая идея заключается в том, чтобы система адаптировалась под конкретного пользователя (его знания, опыт, стиль мышления, психологические особенности, предпочтения) и текущий контекст [2]. База знаний наделяет СППР «интеллектом», позволяя ей не только обрабатывать данные, но и понимать их смысл в контексте предметной области и предлагать обоснованные варианты действий. Интеллектуальное хранилище помогает производить поиск и выборку возможных решений, основываясь на уже имеющемся пользовательском опыте, а также записывать и сохранять новые типы проблем и решения [1–5]. Принцип работы классической базы знаний СППР основывается на правилах ЕСЛИ-ТОГДА. Информация, вводимая пользователем, может сочетать несколько критериев. Для работы с несколькими критериями и более

точной выборки, используются логические операторы И, ИЛИ, НЕ. В блоке ЕСЛИ формируются критерии для отбора информации по следующим параметрам: ключевые слова; название; символы. После чего в блоке ТОГДА производится вывод возможных проблемных ситуаций и предлагаемых решений актору, основываясь на проанализированных критериях. Организация базы знаний СППР способствует объединению акторов в группы для совместного принятия решения и уменьшению затрачиваемого времени на решение проблемы. Субъектно-ориентированная логика разрешения проблемных ситуаций определила следующую совокупность правил, предлагаемых пользователю:

- правила поиска акторов, оказавшихся в подобной ситуации;
- анализ найденных ситуаций на соответствие одной и той же проблемной ситуации;
- правила объединения акторов в группу;
- правила коммунцирования акторов;
- правила поиска результатов разрешения подобных проблемных ситуаций в библиотеке прецедентов;
- правило принятия решения путем консенсуса.

Научная новизна разработки заключается в том, что ранее СППР, работающие в соответствии с алгоритмом субъектно-ориентированного разрешения проблемных ситуаций акторов и предлагаемым наполнением базы знаний, не проектировались.

*Научный руководитель — д.т.н. Моисеева Т.В.*

#### Список литературы

- [1] Моисеева Т. В. Методологические основы поддержки принятия решений по управлению инновационным развитием социотехнических объектов на основе интересубъективного подхода // Системная инженерия и информационные технологии. 2023. Т. 5. № 2 (11). С. 66–95.
- [2] Исаева Е. М., Моисеева Т. В., Поляева Н. Ю. Методы поддержки принятия решений при разрешении проблемных ситуаций акторов // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи: материалы XXX Российской научно-технической конференции. Самара, 28 февраля — 03 марта 2023 г. Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2023. С. 183–184.
- [3] Зайцева Н. Ю., Моисеева Т. В., Самошина Е. М. Модерирование процесса разрешения проблемных ситуаций в субъектно-ориентированной СППР // Цифровая трансформация социальных и экономических систем — DIGITAL2025: Материалы IV Международной научно-практической конференции. Москва, 31 января 2025 г. М.: Московский университет им. С.Ю. Витте, 2025. С. 357–365.
- [4] Зайцева Н. Ю., Самошина Е. М., Храмов П. Р., Моисеева Т. В. Интересубъективно-ориентированная СППР: особенности разработки веб-приложения // Молодёжная наука 2024:

технологии, инновации: Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов, посвящённой Десятилетию науки и технологий в Российской Федерации. В 4 ч. Пермь, 08–12 апреля 2024 г. Пермь: ИПЦ Прокрость, 2024. С. 59–60.

- [5] Моисеева Т. В., Поляева Н. Ю. Моделирование проблемной ситуации в теории интересубъективного управления // Вестник Дагестанского технического университета. Технические науки. 2018. № 45 (1). С. 160–171.

#### 4.38. Попов Д.Н. Дистилляция ансамбля для псевдоразметки в диаризации дикторов

Диаризация дикторов — задача определения временных границ речевых сегментов и их принадлежности дикторам, число которых неизвестно [1]. Точное разделение речи важно для распознавания речи и суммаризации, особенно в сложных акустических условиях, таких как многоязычные встречи или шумные разговоры.

Задача диаризации осложняется пересекающейся речью, шумом, разнообразием акустических условий и неизвестным числом дикторов. Традиционные методы (кластеризация, спектральный анализ) неустойчивы в реальных сценариях и требуют дополнительной обработки [1]. Нейронные подходы, такие как EEND [2], точнее, но зависят от больших объемов размеченных данных [3–5]. Ручная разметка трудоемка и плохо масштабируема, особенно для специфичных данных. Синтетические данные [6] не всегда отражают реальность, снижая генерализацию моделей. Методы обучения без учителя и с частичным обучением ограничены отсутствием надежных псевдометок.

Псевдоразметка широко применяется в смежных областях, таких как обработка естественного языка и распознавание речи [7]. В диаризации дикторов псевдоразметка страдает от накопления ошибок и отсутствия учета неуверенности предсказаний. Кроме того, до сих пор не были предложены методы ансамблирования нескольких диаризационных алгоритмов с оценкой неуверенности для повышения надежности псевдометок [8].

В работе представлен новый метод псевдоразметки, основанный на взвешенном ансамблировании выходов нескольких диаризационных алгоритмов, и способ оценки неуверенности ансамбля моделей. Метод тестировался на датасетах, характеризующихся сложными акустическими условиями, с использованием модели EEND. Эксперименты проводились в сценариях с ограниченными размеченными данными и большими неразмеченными корпусами.

Модели, обученные с использованием предложенного метода, достигли уровня диаризационной ошибки, сопоставимого с обучением на размеченных данных. При добавлении неразмеченных данных

метод показал превосходство над подходами, использующими только размеченные данные, что подчеркивает его масштабируемость в условиях ограниченных ресурсов.

*Работа выполнена при поддержке научно-образовательной школы МГУ «Мозг, когнитивные системы, искусственный интеллект» и НИР по господдержанной теме МГУ 5.1.21 «Вероятностные модели глубинного обучения, процедуры их настройки и применения при решении прикладных задач анализа данных».*

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Майсурадзе А. И.*

#### Список литературы

- [1] PARK T. J., KANDA N., DIMITRIADIS D. ET AL. A review of speaker diarization: recent advances with deep learning // Computer Speech & Language. 2022. Vol. 72. Art. 101317.
- [2] FUJITA Y., KANDA N., HORIGUCHI S. ET AL. End-to-end neural speaker diarization with self-attention // 2019 IEEE Automatic Speech Recognition and Understanding Workshop (ASRU). 2019. P. 296–303.
- [3] FUJITA Y., KOMATSU T., SCHEIBLER R. ET AL. Neural diarization with non-autoregressive intermediate attractors // ICASSP 2023 — 2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. 2023. P. 1–5.
- [4] HAN E., LEE C., STOLCKE A. BW-EDA-EEND: streaming end-to-end neural speaker diarization for a variable number of speakers // ICASSP 2021 — 2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. 2021. P. 7193–7197.
- [5] LIU Y., HAN E., LEE C., STOLCKE A. End-to-end neural diarization: from transformer to conformer // arXiv Preprint. arXiv:2106.07167. 2021.
- [6] EDWARDS E., BRENNDOERFER M., ROBINSON A. ET AL. A free synthetic corpus for speaker diarization research // Speech and Computer. 2018. P. 113–122.
- [7] HIGUCHI Y., MORITZ N., LE ROUX J., HORI T. Momentum pseudo-labeling for semi-supervised speech recognition // arXiv Preprint. arXiv:2106.08922. 2021.
- [8] STOLCKE A., YOSHIOKA T. DOVER: a method for combining diarization outputs // 2019 IEEE Automatic Speech Recognition and Understanding Workshop (ASRU). IEEE, 2019. P. 757–763.

#### 4.39. Ревун А.Л. Инструменты отказоустойчивого выполнения параллельных программ

Современные высокопроизводительные вычислительные системы, особенно распределённые, неизбежно сталкиваются с отказами аппаратных и программных компонентов. По мере масштабирования, вероятность отказа вычислительных узлов во время функционирования системы растёт [1].

Традиционные методы, такие, как периодическое создание контрольных точек (checkpointing), не всегда эффективны. В условиях частых отказов накладные расходы на сохранение и восстановление

могут превышать полезное время вычислений. Зачастую, такие подходы требуют полной остановки приложения, что неприемлемо для критически важных задач. Особенно остро проблема стоит в MPI-приложениях, где отказ одного процесса может привести к отказу всей параллельной задачи несмотря на то, что остальные процессы функционируют нормально [2].

Выделим некоторые средства отказоустойчивого выполнения программ:

- DMTCP — обеспечивает автоматическое создание контрольных точек и восстановление состояния процессов;
- SCR — использует преимущества иерархических систем хранения для создания контрольных точек;
- User Level Failure Mitigation (ULFM) — предотвращает сбой на уровне пользователя.

В отличие от первых, ULFM — это расширение стандарта MPI, интегрированное в Open MPI (начиная с версии 5.0.x). ULFM позволяет обнаруживать отказы процессов и динамически реструктурировать коммутаторы, продолжая выполнение на оставшихся исправных узлах [3].

На основе анализа современных средств отказоустойчивости, предложена архитектура инструмента для отказоустойчивого выполнения MPI-программ на базе Open MPI. Предложенная архитектура базируется на следующих принципах: автоматическое обнаружение отказов, выбор стратегии реструктуризации коммутаторов и перераспределение задач, скрывая сложность ULFM за высокоуровневым API. Это позволяет сохранить производительность без деградации, минимизировать вмешательство в исходный код и использовать стандартные компиляторы. В результате повышается устойчивость выполнения программ, даже в условиях частых отказов, что актуально для современных масштабируемых высокопроизводительных вычислительных систем.

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

#### Список литературы

- [1] ХОРОШЕВСКИЙ В. Г. Архитектура вычислительных систем.: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 204 с.
- [2] LOSADA N., BOSILCA G., BOUTELLER A. ET AL. Local rollback for resilient MPI applications with application-level checkpointing and message logging // Future Generation Computer Systems. 2019. Vol. 91. P. 450–464.
- [3] Документация Open MPI версии 5.x. расширение ULFM. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.open-mpi.org/en/v5.0.x/features/ulfm.html> (дата обращения 13.09.2025).

#### 4.40. *Рудов М.С.* Создание интеллектуальной системы оценки анкерного крепления для горных предприятий

В настоящее время нет адекватной системы оценки анкерного крепления для горных предприятий, основанной на искусственном интеллекте. Система должна отвечать множеству требований, чтобы подходить под текущие реалии и темпы развития горных предприятий. Также система должна быть избавлена от человеческого фактора при решении задач или проблем пользователей при оценке анкерного крепления.

Таким образом, появилась задача создания интеллектуальной системы оценки анкерного крепления для горных предприятий. Такая система позволит в формате диалога с пользователем выявить все нюансы и тонкости различных видов анкеров, выбрать подходящий, подсказать оптимальное решение под текущую ситуацию на шахте или дать рекомендации.

В настоящее время множество систем начинают так или иначе в своей основе использовать искусственный интеллект. Предлагаемое решение так же использует модель через сайт OpenRouter [2], где есть огромная база различных моделей (как бесплатных, так и требуемых оплаты). Бесплатные модели имеют ограничения в использовании инструментов, количестве запросов в день или длине запроса. В данной работе была использована модель qwen3-235b-a22b-2507, которая показала наилучшую совместимость с задачей и может использовать необходимые инструменты. Система была разработана на сервисе N8N [4], который позволяет создавать автоматизации различных рабочих процессов, извлекать и перемещать данные между множеством приложений [1]. Центральным звеном системы является интеллектуальный AI-агент, к которому и подключена выбранная модель. Также используются такие узлы, как PostgresChatMemory — база данных на Supabase [3], в которую агент сохраняет каждый диалог с пользователем, чтобы пользователь мог указать на что-то, что он говорил ранее, и система, подгрузив диалог, поняла контекст вопроса пользователя.

Агенты могут не только решать проблемы выбора анкерного оборудования, но и отвечать на любые вопросы, связанные с компанией, давая советы и рекомендации. При любых противоречиях или неоднозначностях пользователь уведомляется и задаются уточняющие вопросы, чтобы ответ был полным и мог решить поставленную задачу. В итоге разработана система интеллектуальной оценки анкерного крепления для горных предприятий. Система протестирована и работает, и доступна для потенциальных пользователей.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-17-00148,*

*<https://rscf.ru/project/23-17-00148/>).*

#### Список литературы

- [1] n8n. Автоматизация рабочих процессов за чашечкой кофе. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/dockhost/articles/887820> (дата обращения 10.09.2025).
- [2] OpenRouter. [Электронный ресурс]. URL: <https://openrouter.ai> (дата обращения 10.09.2025).
- [3] Supabase. [Электронный ресурс]. URL: <https://supabase.com> (дата обращения 10.09.2025).
- [4] N8N. [Электронный ресурс]. URL: <https://n8n.io> (дата обращения 10.09.2025).

#### 4.41. *Савелова И.А.* Исследование возможности передачи произвольных данных через аудиоканалы VoIP-мессенджеров

Современные мессенджеры активно используют голосовые и видеоканалы связи, основанные на VoIP-технологиях. Эти каналы изначально предназначены для передачи речи, однако потенциально могут быть использованы и для скрытой передачи произвольных данных. Данная возможность позволяет обходить традиционные корпоративные системы защиты, что создает риски для информационной безопасности. Это обуславливает необходимость тщательного анализа и контроля VoIP-трафика в рамках комплексной стратегии защиты от утечек информации в корпоративных системах

Задача данной работы — проверить, может ли аудиоканал мессенджеров служить транспортной средой для цифровых данных. Для этого был реализован полный цикл передачи: исходная информация кодировалась в последовательность битов, которая затем преобразовывалась в звуковой сигнал с использованием различных методов цифровой модуляции (FSK, PSK, OFDM). Полученный сигнал записывался в WAV-файл с определённой частотой дискретизации и разрядностью, совместимой с VoIP-каналами. Аудиосигнал передавался в мессенджер с использованием виртуального аудиокабеля (VB Audio Cable). Таким образом, весь процесс передачи данных от исходного текста до приёма и декодировки через VoIP-канал был полностью программным, что исключало искажения, обычно возникающие при воспроизведении через физические колонки и записи с использованием микрофона.

Передача данных тестировалась в реальных условиях через мессенджеры Signal и ВКонтakte, а также сервис Яндекс-телемост. Эксперименты проводились с использованием инструментов цифровой обработки сигналов (GNU Radio [1]) и программных модемов (minimodem [2], Quiet [3]).

Полученные результаты демонстрируют возможность устойчивой передачи данных с использованием классических методов цифровой модуляции в современных VoIP-сервисах, однако скорость передачи ограничена несколькими килобитами в секунду. Проведен анализ устойчивости передачи к искаже-

ниям, степень которых в значительной мере определяется характеристиками применяемого аудиокодека и условиями сетевой среды.

Установлено, что голосовые каналы мессенджеров могут использоваться как скрытый канал передачи данных, однако сигналы такого рода обладают характерными спектральными признаками, что делает их потенциально обнаруживаемыми средствами аудиоанализа. Практическая значимость исследования заключается в выявлении ограничений данного подхода и в разработке рекомендаций по обнаружению и блокировке подобных каналов в корпоративных системах информационной безопасности.

*Научный руководитель — Лебедев Р. К.*

#### Список литературы

- [1] GNU radio. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gnuradio.org> (дата обращения 19.09.2025).
- [2] minimodem. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.whence.com/minimodem> (дата обращения 19.09.2025).
- [3] Quiet modem project. [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/quiet/quiet> (дата обращения 19.09.2025).

#### 4.42. Сиденко М.Е. Повышение устойчивости комбинированного алгоритма выделения водной поверхности в условиях паводковой ситуации

Несмотря на значительный прогресс в области автоматического выделения водной поверхности, современные алгоритмы демонстрируют недостаточную устойчивость при работе в сложных условиях, таких как сильно увлажненные вследствие паводков почвы, тени от облаков и гор [1]. Поэтому актуальной задачей является разработка и совершенствование методов выделения водной поверхности, устойчивых к данным ошибкам.

Ранее проведенное исследование показало перспективность применения комбинации из алгоритма кластеризации  $k$ -средних и алгоритма классификации случайного леса для выделения разливов рек [2].

В докладе предлагаются меры по повышению качества и стабильности работы комбинированного алгоритма, включая замену алгоритма кластеризации  $k$ -средних на сеточный алгоритм НСА [3], использование различных комбинаций спектральных каналов и индексов как исходных признаков для кластеризации и алгоритма классификации случайного леса.

Результаты работы будут использованы для разработки устойчивого метода автоматического выделения водной поверхности в условиях паводковой ситуации.

*Научный руководитель — к.т.н. Рылов С. А.*

#### Список литературы

- [1] FENG Z. Refining water body extraction by remote sensing with deep learning models: exploring different band combinations // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2025. Vol. 18. P. 18005–18018.
- [2] Сиденко М. Е., Рылов С. А. Влияние спектральных характеристик и методов предобработки спутниковых снимков при выделении водной поверхности // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2025. Т. 4. С. 51–56.
- [3] RYLOV S. A., PESTUNOV I. A. Fast hierarchical clustering of multispectral images and its implementation on NVIDIA GPU // Journal of Physics: Conference Series (JPCS). 2018. Vol. 1096. P. 012039.

#### 4.43. Сингин А.Н. Архитектуры нейронных сетей для синтеза ионограмм радиозондирования ионосферы

В данной работе предлагается рассмотреть применимость искусственных нейронных сетей (ИНС) для синтеза ионограмм радиозондирования ионосферы. Подход предлагается в качестве альтернативы традиционному методу, который основывается на решении краевой задачи распространения радиоволн в двумерно-неоднородной ионосфере.

Задача формулируется как условная генерация изображения. Задаёт параметры генерации вектор метаданных, содержащий в себе характеристики измерений. Сводится решение к обучению ИНС зависимостям между входными и выходными данными. Достигается путем обучения архитектуры на парах метаданных и спектрограмм, представленных в специальном формате [1]. Часть вызовов при решении связаны с подбором архитектуры ИНС.

Универсальной является разновидность «энкодер — декодер». Где первый «кодирует» исходные данные в латентное представление, а второй «расшифровывает» его в выходные данные. Модули различаются между собой организацией и строятся на основе сверточных, генеративно-состязательных, диффузионных или прочих разновидностей нейронных сетей.

В качестве первого приближения решено было использовать простейшую модель, где в качестве энкодера выступали 4 линейных слоя, разжимавших изначальный вектор метаданных в вектор длиной 1024. Полученный вектор преобразовывался в матрицу, которая путем прохождения через слой сверточного декодера восстанавливалась до размеров изначальной ионограммы. В качестве функции потерь при обучении использовалась MSE.

Проведенная по итогам обучения оценка результатов не позволила заявить о состоятельности решения. Потери 0.03, ставшие плато при обучении, оказались недостаточными для качественной генерации. Большая часть значимых пикселей была предсказана неверно, в основном точно был предсказан шум. При оценке с использованием SSIM, бо-

лее строгой метрики, удалось объективно доказать несостоятельность текущей организации модели.

В качестве улучшений текущего решения предлагается заменить функцию потерь на SSIM, попытаться усилить модель, путем введения большего числа сверточных слоев. Среди других сверточных архитектур внимание привлекает архитектура PixelCNN++. Она обучается в режиме image-to-image генерации, где модулирующий вектор метаданных внедряется в процесс предсказания пикселей и служит опорой для последующего условного синтеза ионограмм.

*Научный руководитель — к.т.н. Щирый А. О.*

#### Список литературы

- [1] Щирый А. О. Алгоритмы и программное обеспечение автоматизации процессов измерений и обработки данных оперативной диагностики ионосферы и ионосферных радиолиний // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2022. № 10. DOI:10.30898/1684-1719.2022.10.4.

#### 4.44. Сиротинин А.А., Володько О.С. Метод проектирования оптимальной сети Интернета вещей на трехмерной модели здания с использованием эволюционного подхода

Проблема проектирования эффективных беспроводных сенсорных сетей (БСС) в условиях сложной пространственной среды, характерной для современных зданий, относится к числу междисциплинарных и интенсивно развивающихся. Развитие технологии интернета вещей позволило повысить уровень безопасности и комфорта жизни, снизить нагрузку на ресурсные организации и, следовательно, сократить экологический след человечества. Множество датчиков (температуры, дыма, вибрации, силы тока и др.) и исполнительных устройств анализируют состояние различных механизмов и узлов, что позволяет своевременно устранять нештатные ситуации. Для функционирования датчиков и исполнительных устройств требуется стабильное покрытие сетью. Такая сеть объединяет между собой датчики и исполнительные устройства, передает полученные данные на сервер, где осуществляется обработка информации и выполнение задач согласно преднастроенным сценариям. Самыми распространенными стандартами связи для технологии интернета вещей являются Bluetooth, ZigBee и Wi-Fi [1]. Так как все представленные стандарты связи работают в диапазоне сверхвысоких частот, то любое препятствие на пути распространения радиосигнала может стать причиной потери связи с тем или иным устройством. Для решения проблемы распространения радиосигналов необходимо произвести моделирование помещения с учетом архитектурных особенностей, материалов конструкций и отделки, а если здание состоит из нескольких этажей, то модель должна быть трехмерной.

Задача оптимизации заключается в оптимальной расстановке минимально возможного количества хабов при максимально возможном уровне мощности сигнала с учетом интерференции радиоволн. В решении задачи оптимальной расстановки хабов комбинируются радиоволновая модель — дополненная модель Мотли — Кинана [2], учитывающая затухание сигнала в стенах и перекрытиях, и оптимизационный метод — классический генетический алгоритм [3].

Для реализации генетического алгоритма здание разбивается на клетки, каждая из которых представляет собой куб заданного размера. В качестве хромосомы выбран бинарный вектор, который описывает расстановку хабов во всём здании.

В ходе работы был создан эффективный вычислительный программный комплекс на языке Python для автоматического поиска оптимальных мест расстановки хабов для БСС с учетом их количества, мощности и интерференции [4, 5]. Программный комплекс состоит из трех модулей: графического, вычислительного и мультипроцессинга. Графический модуль позволяет обрабатывать и получать информацию об архитектурных особенностях здания, создавая трехмерные матрицы расстояний и препятствий. Вычислительный модуль реализован на основе генетического алгоритма и позволяет по полученным данным из графического модуля проводить расчеты для нахождения оптимального количества и мест расположения хабов. Модуль мультипроцессинга позволяет распараллеливать вычисления по ядрам процессора и ускоряет работу программного комплекса. В результате работы комплекса определяются оптимальные места расположения и количество хабов на плане здания с соответствующей картой уровней мощности сигнала.

#### Список литературы

- [1] Сиротинин А. А., Володько О. С. Построение оптимизационной модели беспроводной внутренней сети для использования технологии интернета вещей // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2024. Т. 34. № 2. С. 135-143.
- [2] WANG W., CAPITANEANU S. L., MARINCA D. ET AL. Comparative analysis of channel models for industrial IoT wireless communication // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 91627–91640.
- [3] SINGH A., SHARMA S., SINGH J. Nature-inspired algorithms for wireless sensor networks: a comprehensive survey // Computer Science Review. 2011. Vol. 39. Art. 100342.
- [4] Сиротинин А. А., Володько О. С. Программа для проектирования структуры оптимальной базовой сенсорной сети внутри здания с помощью генетического алгоритма (свидетельство № 2024681352) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2024.
- [5] Сиротинин А. А., Володько О. С. Модуль для преобразования растровых изображений планов

этажей в цифровую карту здания (свидетельство № 995000589) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2025.

**4.45. Тимохин А.М., Ашыров В.Г., Кузьмин Е.А., Уразова К.М., Покидова К.С. Программное обеспечение для анализа поведенческих тестов и ЭЭГ-исследований лабораторных животных**

В работе представлено программное обеспечение, предназначенное для автоматизированного анализа видеозаписей поведенческих тестов лабораторных животных и интеграции полученных данных с электроэнцефалографическими (ЭЭГ) записями. В отличие от традиционных методов, основанных на ручной оценке поведения, предложенный подход использует алгоритмы компьютерного зрения и машинного обучения [1, 2], что обеспечивает воспроизводимую и объективную обработку данных. Программная система ориентирована на исследование когнитивных и социальных функций в моделях нейродегенеративных заболеваний [3] и позволяет устанавливать взаимосвязи между нейрофизиологической активностью и поведенческими проявлениями животных [4].

Цель исследования заключается в создании инструмента, объединяющего поведенческий и нейрофизиологический анализ для повышения точности и глубины интерпретации экспериментальных данных. Разрабатываемый комплекс направлен на автоматизацию обработки видеозаписей, выявление закономерностей между активностью отделов мозга и характеристиками поведения, а также моделирование влияния нейродегенеративных процессов на когнитивные и социальные функции.

Разработан и протестирован прототип программного обеспечения, реализующий автоматическое распознавание и классификацию поведенческих актов лабораторных животных на основе анализа видеоизображений [1]. С его помощью проведено исследование поведения в стандартных тестах: водный лабиринт Морриса, открытое поле, приподнятый крестообразный лабиринт и трёхкамерный социальный тест [2]. Полученные данные были сопоставлены с параметрами ЭЭГ, что позволило выявить корреляции между активностью отдельных отделов мозга и характеристиками двигательной и социальной активности [4].

Система обеспечивает количественную и качественную оценку поведения, автоматизированное формирование статистических показателей и возможность дальнейшей интеграции с нейрофизиологическими данными. Такой подход открывает перспективы для комплексного анализа функционального состояния мозга и объективной оценки изменений, вызванных патологическими процессами или терапевтическим воздействием [3].

Предложенный инструмент продемонстрировал

эффективность при анализе поведенческих данных и потенциал для дальнейшего расширения. Ведётся работа над созданием неинвазивных методов регистрации ЭЭГ у мышей, что позволит более детально исследовать динамику мозговой активности и сформировать многоуровневые модели когнитивных и социальных процессов при нейродегенеративных заболеваниях [3, 4].

**Список литературы**

- [1] SUN G., LYU C., CAI R. ET AL. DeepBhvTracking: a novel behavior tracking method for laboratory animals based on deep learning // *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 2021. Vol. 15. Art. 750894.
- [2] KISHI T., KOBAYASHI K., SASAGAWA K. ET AL. Automated analysis of a novel object recognition test in mice using image processing and machine learning // *Behavioural Brain Research*. 2025. Vol. 476. Art. 115278.
- [3] GHARAGOZLOO M., AMRANI A., WITTINGSTALL K. ET AL. Machine learning in modeling of mouse behavior // *Frontiers in Neuroscience*. 2021. Vol. 15. Art. 700253.
- [4] LOPES M. A., JUNGES L., WOLDMAN W. ET AL. The role of excitability and network structure in the emergence of focal and generalized seizures // *Frontiers in Neurology*. 2020. Vol. 11. Art. 74.

**4.46. Томникова К.Е. Сравнительный анализ методов PCA и MCR для сокращения размерности спектральных данных кожи с целью повышения эффективности ансамблевой классификации**

Целью исследования является выявление метода, предоставляющего наиболее эффективное представление исходных спектральных данных кожи для последующей классификации ансамблевыми алгоритмами.

Рамановские спектры кожи были поделены на 30 компонент методами PCA и MCR [1, 2]. Каждый компонент далее используется в качестве признака при классификации в ранее разработанной ансамблевой модели. Рассмотрены три случая классификации: доброкачественные новообразования против злокачественных, злокачественная меланома против пигментного невуса и злокачественная меланома против пигментного невуса и себорейного кератоза. Эффективность моделей оценивалась по площади под ROC-кривой (ROC AUC).

Результаты исследования показали, что метод MCR обеспечивает более высокую точность классификации, хоть прирост и небольшой. В случае доброкачественных новообразований против злокачественных ROC AUC при использовании метода PCA составляет  $0.71 \pm 0.07$ , а при использовании метода MCR —  $0.75 \pm 0.07$ . В случае злокачественной меланомы против пигментного невуса эти значения равны  $0.69 \pm 0.13$  и  $0.80 \pm 0.11$  соответственно. В случае классификации злокачественной меланомы против пигментного невуса и себорейного кератоза —

0.74±0.07 и 0.77±0.10 соответственно.

Преимуществом данного метода также является возможность физической интерпретации получаемых компонент, что предпочтительно для диагностики кожи, поскольку облегчает понимание химического состава образцов [3].

Таким образом, метод MCR является более информативным и надежным методом сокращения размерности спектральных данных кожи, по сравнению с методом PCA.

#### Список литературы

- [1] RUIZ-PEREZ D., GUAN H., MADHIVANAN P. ET AL. So you think you can PLS-DA? // BMC Bioinformatics. 2020. Vol. 21. P. 1–10.
- [2] FELTEN J., HALL H., JAUMOT J. ET AL. Vibrational spectroscopic image analysis of biological material using multivariate curve resolution-alternating least squares (MCR-ALS) // Nature Protocols. 2015. Vol. 10. N. 2. P. 217–240.
- [3] MATVEEVA I., KOMLEV A., KAGANOV O. ET AL. Multidimensional analysis of dermoscopic images and spectral information for the diagnosis of skin tumors // Journal of Biomedical Photonics and Engineering. 2024. Vol. 10. N. 1. P. 58–66.

#### 4.47. Урдин П.С. Ускорение ввода-вывода высокоскоростных SSD в ОС Linux с помощью механизма опроса

Современные высокоскоростные SSD (в частности, NVMe) способны обеспечивать чтение данных с задержкой порядка нескольких микросекунд [1]. Стандартный механизм ввода-вывода в операционной системе Linux работает с использованием прерываний и переключений контекста процессора во время ожидания данных с диска. С давних времён данный механизм позволял скрыть большую задержку при работе с жёсткими дисками, позволив при ожидании ввода-вывода исполняться другому процессу. Однако при работе с высокоскоростными SSD переключения контекста вносят видимую задержку и не позволяют достичь той скорости доступа к данным, на которую в реальности способны устройства [2].

Режим опроса — это альтернативный метод работы с диском, позволяющий снизить задержку операций ввода-вывода ценой повышенной нагрузки на процессор. Снижение задержки обеспечивается за счёт холостого цикла, выполняющего постоянный опрос диска на предмет завершения операции.

В ядре Linux режим опроса включается на уровне блочных устройств, однако для приложений в пользовательском пространстве он доступен только через интерфейс `io_uring` [3]. В результате работы был написан модуль ядра для Linux, активирующий режим опроса при всех чтениях с NVMe SSD для выбранного процесса, что дало возможность ускорить ввод-вывод приложений, использующих системные вызовы `read`, `mmap` и др. Активация режима опроса

реализована с помощью перехвата функций в ядре механизмом `ftrace`.

По результатам замеров, средняя задержка чтения с NVMe SSD при использовании модуля снижается на 16%. (случайный доступ к блокам по 4 кБ)

Также в ходе исследования был изучен и протестирован механизм `userfaultfd`, позволяющий обрабатывать ошибку `page fault` в ОС Linux на уровне пользовательского приложения. С помощью `userfaultfd` и `io_uring` был реализован прототип отображения данных на память, загружающий данные с SSD в ускоренном режиме, который можно использовать в сценариях, где загрузка модулей ядра невозможна.

*Научные руководители — Лебедев Р.К., Рутман М.В.*

#### Список литературы

- [1] SAMSUNG MEMORY SOLUTIONS LAB. Ultra-low latency with Samsung Z-NAND SSD. [Электронный ресурс]. URL: <https://download.semiconductor.samsung.com/resources/brochure/Ultra-Low%20Latency%20with%20Samsung%20Z-NAND%20SSD.pdf> (дата обращения 20.09.2025).
- [2] LEE G., JIN W., SONG W. ET AL. A case for hardware-based demand paging // 2020 ACM/IEEE 47th Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA). 2020. P. 1103–1116.
- [3] SEO D., JOO Y., DUTT N. Improving virtualized I/O performance by expanding the polled I/O path of Linux // Proceedings of the 16th ACM Workshop on Hot Topics in Storage and File Systems. 2024. P. 31–37.

#### 4.48. Хомчук Е.П., Шульженко И.А. Хранение данных Экспериментального комплекса НЕВОД

На нашу планету постоянно падает поток высокоэнергичных протонов и ядер — первичных космических лучей (ПКЛ), ускоренных в результате различных активных процессов во Вселенной. ПКЛ, попадая в атмосферу, начинают взаимодействовать с ядрами ее атомов, в результате чего рождаются вторичные элементарные частицы (осколки ядер, каоны, пионы, мюоны, электроны, гамма-кванты и др.). Эти частицы обладают достаточной энергией, чтобы повторно провзаимодействовать с ядрами атомов атмосферы. В результате, образуется широкий атмосферный ливень (ШАЛ) — каскадный процесс рождения большого числа (до нескольких миллионов) новых частиц, которые долетают до поверхности Земли, а следовательно могут быть зарегистрированы. Информация, получаемая при регистрации ШАЛ, позволяет определять направление прихода ПКЛ и их энергию, связывать события регистрации с процессами во Вселенной.

Одной из установок, регистрирующих частицы ШАЛ на поверхности Земли, является Экспериментальный комплекс (ЭК) НЕВОД [1]. Это уникальная научная установка, которая позволяет проводить фундаментальные и прикладные исследования

с использованием природных потоков частиц на поверхности Земли во всем интервале зенитных углов и рекордном диапазоне энергий ( $1\text{--}10^{10}$  ГэВ). В состав комплекса входят ряд детекторов для регистрации частиц ШАЛ: черенковский водный детектор НЕВОД, система калибровочных телескопов, координатные детекторы ДЕКОР и ТРЕК, а также ливневые установки УРАН, ПРИЗМА, НЕВОД-ШАЛ. Агрегация экспериментальных данных установок, дает возможность изучать события ШАЛ по нескольким компонентам одновременно, с большей точностью определять параметры ПКЛ.

Момент происхождения какого-либо события во Вселенной непредсказуем, поэтому установки ЭК НЕВОД работают круглые сутки в режиме 24/7. Данные со всех установок комплекса, параметры электронной аппаратуры и климатических условий необходимо надежно хранить на серверах ЭК НЕВОД для дальнейшего использования. Также необходимо обеспечить легкий, но ограниченный доступ к данным комплекса. Для этого в ЭК НЕВОД создана специализированная система хранения данных, основанная на различных файловых системах, реляционных и нереляционных базах данных.

В докладе представлена структура хранения данных комплекса, продемонстрировано применение реляционных и нереляционных баз данных для задач хранения научной и технической информации, а также организации доступа к ней.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 22-72-10010-П).*

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Шульженко И. А.*

#### Список литературы

- [1] Амельчаков М. Б., Астапов И. И. Экспериментальный комплекс НЕВОД / М.: НИЯУ МИФИ, 2022. 260 с.

#### 4.49. Чеглов Е.Р. Распознавание сгенерированного программного кода в студенческих работах на основе метода случайного леса и анализа стилистических признаков

В последние годы использование генеративных моделей искусственного интеллекта студентами становится всё более распространённым не только в учебном процессе, но и в соревновательных форматах — на хакатонах, олимпиадах и других конкурсах программирования [1]. Это создаёт серьёзные вызовы для академической среды, где оценка оригинальности решений является ключевым элементом контроля знаний. Существуют различные подходы к автоматическому распознаванию сгенерированного кода [2]. Однако их применение требует значительных вычислительных ресурсов и крупных размеченных корпусов данных. В данном исследовании рассматривается альтернативный подход — бинарная классификация программного кода

с использованием метода случайного леса и анализа стилистических и статистических признаков.

Для исследования был собран датасет, включающий 500 решений, написанных студентами, и 450 решений, сгенерированных различными моделями искусственного интеллекта для тех же задач. Перечень моделей формировался на основе анонимного опроса, в котором приняли участие более 60 студентов. Среди наиболее часто используемых инструментов были отмечены ChatGPT, Gemini, DeepSeek, Qwen, Microsoft Copilot, Grok, Claude, а также отечественные модели YandexGPT и GigaChat. Каждая модель генерировала пять решений: одно — имитируя типичное поведение студента, три — как различные варианты ответа на запрос, и одно — по специальному запросу, побуждающему имитировать студенческий стиль с намеренными стилистическими неточностями. Все решения были проверены в тестирующей системе, после чего проведена подготовка данных для обучения модели. Датасет был сохранён в формате JSON.

Для извлечения признаков был разработан скрипт на Python с использованием инструментов scikit-learn для обучения и валидации модели. Анализировались такие характеристики, как длина кода, частота ключевых слов и другие метрики. На первой итерации модель случайного леса обучалась на 30 признаках с параметрами по умолчанию (150 деревьев, фиксированное случайное состояние). Полученные результаты показали высокие показатели на обучающей выборке ( $F1 \approx 0.997$ ) и  $F1 \approx 0.90$  на тестовой, при средней  $F1$  кросс-валидации  $0.8187 \pm 0.0394$ , что указывало на склонность к переобучению. На следующем этапе часть признаков была исключена, их количество сократилось до 18, а гиперпараметры модели были изменены: глубина деревьев ограничена до 10, минимальное количество образцов для разбиения увеличено до 5, добавлен баланс классов. В результате  $F1$  на обучающей выборке снизился до 0.98, тестовая  $F1$  составила 0.895, а средняя  $F1$  кросс-валидации —  $0.8178 \pm 0.0531$ . Эти изменения свидетельствуют о снижении переобучаемости и достижении моделью естественного потолка качества, обусловленного информативностью признаков.

Таким образом, проведённое исследование показало, что анализ стилистических и статистических характеристик кода позволяет достичь высоких результатов в задаче распознавания сгенерированных решений в студенческой среде при относительно низких вычислительных затратах. В перспективе планируется расширение датасета за счёт включения новых тематических блоков и анализ вариативности качества распознавания в зависимости от тематики задач. Также планируется исследовать применение глубоких нейросетевых моделей и комбинированных методов для повышения точности класси-

фикации.

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Пестунов А. И.*

#### Список литературы

- [1] Кириенко Д. П. Нейросети: плюсы и минусы // Тр. Конф. «Всероссийский съезд учителей информатики». Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2025. С. 300–303.
- [2] OEDINGEN M., ENGELHARDT R., DENZ R. ET AL. ChatGPT code detection: techniques for uncovering the source of code // AI. 2024. N. 5 (3). P. 1066–1094.

#### 4.50. Черевко Н.Н., Пестунов А.И. Разработка автоматизированной системы тестирования UX/UI на основе адаптации нейронных сетей и гибридного анализа

Современные инструменты тестирования UX/UI, такие как Google Lighthouse, Applitools и axe-core, обеспечивают проверку отдельных аспектов (доступность, производительность), но не предлагают комплексного решения. Нейросетевые платформы Uizard, EyeQuant не учитывают контекст использования продукта, включая культурные и социальные особенности аудитории. Отсутствие единого инструмента, сочетающего автоматизированный анализ и экспертные оценки, существенно снижает эффективность тестирования. Цель настоящей работы заключается в создании программного комплекса UXpulse AI для комплексного тестирования пользовательского опыта и интерфейсов веб-сайтов и мобильных приложений.

Для решения этих проблем предлагается гибридный подход, сочетающий нейросетевые методы с интерактивными опросами. Архитектура системы включает: ядро на Python и Streamlit для веб-интерфейса, Playwright для автоматизации браузерных сценариев, YOLO v8 и OpenCV для распознавания элементов интерфейса и анализа контрастности, axe-core для проверки доступности. Методология предусматривает автоматические проверки: адаптивность, SEO, производительность, контекстуальные опросы для учёта характеристик целевой аудитории. Преимущества системы перед аналогами включают: полноту оценки, гибкость за счёт замены сложных NLP-моделей целевыми опросами, использование open-source технологий и учёт контекстных особенностей аудитории. Разработанный инструмент после внедрения в процессы веб-разработки позволит сократить время ручного тестирования.

#### 4.51. Черепанова С.А., Барбасова Т.А., Канышев Е.А. Применение методов AutoML и ХАИ для прогнозирования содержания кремния в чугунах доменной печи

Мониторинг теплового режима является одной из ключевых задач в управлении доменным производством. Основным индикатором теплового состояния

доменной печи служит содержание кремния в выплавленном чугуне [1]. Прогнозирование данного параметра осложняется многопараметричностью и нелинейностью доменного процесса, вследствие чего разработка точных и при этом интерпретируемых моделей остаётся сложной задачей.

Существующие методы прогнозирования содержания кремния имеют ряд недостатков. Физико-химические модели требуют больших вычислительных затрат, эмпирические зависимости теряют точность при изменении режима работы печи, а модели машинного обучения, несмотря на хорошую предсказательную способность, трудно интерпретируемы для использования в системах управления [2].

В работе исследуется возможность совместного применения технологий автоматизированного машинного обучения (AutoML) и методологии объяснимого искусственного интеллекта (ХАИ) для построения модели прогнозирования содержания кремния, которая была бы одновременно точной и понятной для технологов.

Для создания и настройки моделей использовалась платформа H2O AutoML [3]. Модели обучались на исторических данных работы доменной печи, включающих химический состав и расход шихтовых материалов, параметры дутья и колошникового газа, а также технологические показатели доменного процесса. Модель с лучшей точностью была дополнительно исследована методами объяснимого искусственного интеллекта, в результате чего были выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на результат прогноза и согласующиеся с физикой доменного процесса.

Таким образом, комбинация AutoML и ХАИ позволила быстро создать точную и интерпретируемую модель. Результаты могут быть использованы при разработке экспертных систем и систем поддержки принятия решений в управлении доменным процессом.

#### Список литературы

- [1] HAGE J. L. T., VAN DER STEL J., YANG Y. Silicon in hot metal from a blast furnace, the role of FeO // Ironmaking & Steelmaking. 2022. Vol. 49. N. 6. P. 581–587.
- [2] ОНОРИН О. П., СПИРИН Н. А., ТЕРЕНТЬЕВ В. Л. и др. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / Под ред. Н. А. Спирина. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. 301 с.
- [3] LEDELL E., POIRIER S. H2O AutoML: scalable automatic machine learning // Proceedings of the AutoML Workshop at ICMML. 2020. Vol. 2020. P. 24.

#### 4.52. Черненко И.М. Генератор скриптов доказательства условий корректности роST-программ

Процесс-ориентированное программирование — перспективный подход к созданию управляющего программного обеспечения [1]. В рамках этого подхода программа определяется, как последо-

вательность взаимодействующих процессов. Язык роST [2] является процесс-ориентированным расширением языка Structured Text (ST) из стандарта IEC 61131-3.

Чтобы обеспечить корректность процесс-ориентированных программ был разработан метод дедуктивной верификации [3], в котором требования к таким программам выражаются в виде инвариантов цикла управления. При дедуктивной верификации программа сводится к набору условий корректности — логических формул, истинность которых гарантирует корректность программы.

В [4] предложена методика автоматизации этого метода с помощью шаблонов описания требований. В данной работе мы представляем генератор скриптов доказательства условий корректности роST-программ для системы Isabelle/HOL, основанной на этой методике.

Генератор работает в режиме командной строки. В качестве параметра ему передается путь к файлу, в котором описано соответствие проверяемых требований шаблонам. Информация об именах параметров условий корректности и теориях Isabelle/HOL, содержащих условия корректности, передается генератору через стандартный поток ввода. Эти данные имеют следующий формат. В первой строке содержатся имена параметров условий корректности, соответствующих входным переменным программы. Остальные строки имеют вид  $T b e$ , где  $T$  — имя теории Isabelle/HOL, содержащей условия корректности, а  $b$  и  $e$  определяют диапазон номеров условий корректности, содержащихся в этой теории. Для каждого файла, содержащего условия корректности, и каждого требования генератор создает теории Isabelle/HOL, которые содержат доказательства этих условий корректности. Эти теории импортируют теории с условиями корректности, леммами, необходимыми для доказательства условий корректности, и требованиями.

*Исследование выполнено в рамках проекта госзадания ИАиЭ СО РАН 125022803031-1.*

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Ануреев И. С.*

#### Список литературы

- [1] ZYUBIN V. E. Hyper-automaton: a model of control algorithms // Proc. Intern. Conf. «2007 Siberian Conference on Control and Communications». Tomsk, Russia: 2007. P. 51–57.
- [2] ZYUBIN V. E., ROZOV A. S., ANUREEV I. S. ET AL. роST: a process-oriented extension of the IEC 61131-3 structured text language // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 35238–35250.
- [3] ANUREEV I., GARANINA N., LIAKH T. ET AL. Two-step deductive verification of control software using Reflex // Proceedings of the International Andrei Ershov Memorial Conference on Perspectives of System Informatics. Springer, 2019. P. 50–63.
- [4] ЧЕРНЕНКО И. М., АНУРЕЕВ И. С. Подход к автоматизации дедуктивной верификации процесс-ориентированных программ, основанный на шабло-

нах: шаблоны, леммы и алгоритмы // Моделирование и анализ информационных систем. 2024. Т. 31. № 4. С. 384–425.

#### 4.53. Шатилов Д.А. Семантическая сегментация лесных массивов на спутниковых снимках высокого разрешения с помощью U-Net-подобных моделей

Актуальные задачи лесопользования и лесотаксации неразрывно связаны с трудоемким анализом и обработкой крупномасштабных оптических данных с целью определения видового состава и составления площадных карт растительности. Одним из наиболее перспективных методов обработки такого рода данных является использование моделей глубокого обучения, позволяющих автоматически проводить высокоточную семантическую сегментацию снимков [1].

В работе рассматривается проблема выделения различных классов древостоев на основе панхроматической и мультиспектральной информации высокого пространственного разрешения со спутника WorldView-2. Для составления 12-классовой маски разметки апробируются различные модели на основе архитектуры U-Net [2]. Показано, что наиболее стабильное обучение достигается с применением процентного линейного растяжения как способа нормализации исходных данных. Обнаружено, что использование подвыборки спектральных каналов исходных данных помимо эффективного уменьшения веса модели также позволяет увеличить качество конечной карты видового состава.

С применением процедуры паншарпенинга [3] для повышения разрешения мультиспектра до 0.5 м и выбором спектральной конфигурацией [B, G, R, NIR1] в сочетании с пахроматическим каналом достигнуто значение точности сегментации 0.466 по средней IoU-метрике.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 22-17-20012, <https://rscf.ru/project/22-17-20012/>).*

*Научный руководитель — к.т.н. Рылов С. А.*

#### Список литературы

- [1] HUANG L., JIANG B., LV Y. ET AL. Deep learning-based semantic segmentation of remote sensing images: a survey // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2023. Vol. 10. N. 1. P. 1–28.
- [2] RONNEBERGER O., FISCHER P., BROX T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation // Proc. Intern. Conf. «MICCAI». Cham: Springer, 2015. Vol. 9351. P. 234–241.
- [3] MAURER T. How to pan-sharpen images using the Gram–Schmidt pan-sharpen method — a recipe // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2013. P. 239–244.

#### 4.54. Шевелькова В.Ю., Сороковых Д.А. Анализ производительности умножения разреженной матрицы на вектор на процессоре RISC-V

Современные задачи обработки данных и научных вычислений требуют эффективной работы с разреженными структурами. Оптимизация операций умножения матриц и векторов напрямую влияет на производительность прикладных алгоритмов. Рассмотрение этих процессов на архитектуре RISC-V [1] позволяет расширить представления о практическом применении открытых процессорных решений в высокопроизводительных вычислениях.

Проблема эффективного умножения разреженных матриц изучалась в классических работах по линейной алгебре и алгоритмам вычислительной математики. Исследования в области архитектурного анализа RISC-V активно развиваются, но вопросы, связанные с оценкой тактовых затрат при конкретных вычислительных задачах, остаются недостаточно раскрытыми.

Наличие разрыва между теоретическими моделями и практической реализацией обусловило необходимость данного исследования. В настоящей работе ставились задачи определения тактовых затрат операции умножения разреженной матрицы на вектор на процессоре RISC-V AndesCore AX45MP-1C [2] и выявления влияния архитектурных особенностей (конвейеризация, частота) на производительность. Эмпирическую основу составили инструкции RISC-V с учетом их тактовых характеристик. Были разработаны и протестированы программные реализации функции умножения разреженной матрицы на вектор, переведенные в ассемблерный код для дальнейшего анализа. Составлен список инструкций RISC-V с указанием их тактовой стоимости. Выделена ключевая часть кода, отвечающая непосредственно за операцию перемножения. Рассчитаны тактовые затраты выполнения функции. С учётом конвейеризации [3] (две инструкции за такт) и частоты 2200 МГц получено время выполнения функции.

Анализ показал, что умножение разреженной матрицы на вектор (для матрицы размером  $n = 10000$ ,  $nnz = 1000000$ ) на архитектуре RISC-V требует 37 тактов при базовых условиях. При учёте архитектурных особенностей — конвейеризации и тактовой частоты 2200 МГц — время выполнения составило около 8.41 мс. Можно говорить, что в нашей модели это верхняя оценка без учета нелинейного обращения к памяти. Полученный результат даёт реалистичную оценку производительности и демонстрирует потенциал RISC-V для оптимизации задач линейной алгебры и вычислительных алгоритмов.

#### Список литературы

- [1] The RISC-V specifications. RISC-V International. [Electronic resource]. URL: <https://riscv.org/technical/specifications> (дата обращения: 18.09.2025).
- [2] Andes technology corporation AndesCore AX45MP-1C processor reference manual. 2022. P. 322.
- [3] Сороковых Д. А. РАКИТСКИЙ А. А. Анализ архитектуры RISC-V для последующего определения вычислительной способности // Обработка информации и математическое моделирование. 2024. С. 72–75.

#### 4.55. Шехова А.А., Карпова Е.Д., Шанько Ю.В. Решение задачи локализации гомологичных участков при сравнении символьных последовательностей

В работе [1] авторами предложен новый метод сравнения символьных последовательностей  $\mathbb{P}$  и  $\mathbb{Q}$  разной длины  $n_P$  и  $n_Q$  соответственно, составленных из символов конечного алфавита  $\mathbb{N}$ .

Метод рассматривает все возможные расположения последовательностей друг относительно друга (для краткости далее — наложения последовательностей  $\mathbb{P}$  и  $\mathbb{Q}$ ) и подсчитывает количество совпадающих пар символов, расположенных друг под другом в каждом наложении. Метод основан на вычислении свёртки индикаторных последовательностей каждого символа алфавита  $\mathbb{N}$ , сконструированных из сравниваемых символьных. По теореме о свёртке, свёртка двух числовых последовательностей может быть получена, как обратное преобразование поточечного произведения отдельных дискретных преобразований Фурье каждой последовательности. Поскольку в предложенном алгоритме вычисляется свёртка индикаторных последовательностей для каждого символа алфавита, результатом работы метода является целочисленная последовательность  $\mathbf{C} = \{c_1, \dots, c_N\}$ , где каждое значение отражает число попарных совпадений символов в соответствующем наложении, причем нулевым считается наложение, в котором первый символ последовательности  $\mathbb{P}$  накладывается на последний символ последовательности  $\mathbb{Q}$ . Каждое последующее наложение получается путем сдвига последовательности  $\mathbb{Q}$  на один символ вправо относительно фиксированной последовательности  $\mathbb{P}$ . Таким образом,  $N = n_P + n_Q - 1$ . Эффективность метода основана на применении быстрого дискретного преобразования Фурье для вычисления сразу всей  $\mathbf{C}$ . Метод позволяет быстро найти самое выгодное с точки зрения совпадения символов наложение  $c^* = \max_{1 \leq i \leq N} \{c_i\}$ .

При этом допускаются мутации символов (замены, вставки и выпадения) в совпадающих участках. Однако, метод ничего не говорит о расположении сходных подпоследовательностей непосредственно внутри последовательностей  $\mathbb{P}$  и  $\mathbb{Q}$ . Следовательно, возникает задача локализации сходных подпоследовательностей.

В настоящей работе предложен метод локализации сходных участков в сравниваемых последовательностях. Показано, что с помощью  $c^*$  можно оценить длину совпадающего участка. Если затем методом из [1] построить ещё одну свёртку  $C_1$  индикаторных последовательностей со специальным весом, то можно оценить ещё один параметр совпадающего участка — его середину относительно начала налагающий участок. Это позволяет хорошо локализовать совпадающий участок.

В работе продемонстрирована хорошая точность локализации на реальных геномных последовательностях со вставками.

*Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2025-1606).*

#### Список литературы

- [1] SHAIUROV V., KAREPOVA E., SADOVSKY M. ET AL. Highly parallel convolution method to compare DNA sequences with enforced In/Del and mutation tolerance // LNBI — Part of the Lecture Notes in Computer Science. 2020. Vol. 12108. P. 472–481.

#### 4.56. Шеховцова И.Р. Цифровой двойник системы электронного документооборота для оптимального управления информационными потоками

В условиях цифровой трансформации организации активно внедряют системы электронного документооборота (СЭД) и имеют потребность в автоматизированном контроле движения и исполнения документов. Узкие места в документооборотных процессах могут стать причинами операционных сбоев, финансовых потерь, срыва планов и ущерба деловой репутации. Применение технологии цифровых двойников может снизить риски потерь от неопределённых простоев документов в СЭД.

Для формализации движения документов в СЭД вводятся состояния их жизненного цикла и применяется математический аппарат марковских процессов [1]. Переходы между состояниями происходят случайным образом под воздействием потоков событий, интенсивности которых обратно пропорциональны среднему времени обработки документов. В предельном случае суммирование и разрежение таких потоков сводится к простейшему потоку, что согласуется со свойствами непрерывных марковских процессов [2]. Из этого следует, что новая модель, в отличие от существующих, адекватна в аспектах системной динамики и ориентирована на анализ вероятностного движения большого количества документов с идентичными регламентами обработки.

При оценке последствий от задержек документов выделяются классы состояний, способствующие получению дохода (производительные) и потенциально приводящие к потерям (непроизводительные).

Социальные, репутационные, экономические и организационные факторы составляют многокритериальный характер оценки стоимости каждого состояния. В исследовании вводится дисперсионная модель риска — количественная мера неопределённости (ущерб или выгода) нахождения документов не в статистически ожидаемых состояниях с учетом их стоимости.

Стратегии управления документооборотными процессами и соответствующие им решения оптимизационных задач направлены на минимизацию риска недополучения выгоды в связи с непроизводительными состояниями документов.

Разработанная система взаимосвязанных математических моделей составляет основу цифрового двойника СЭД для поддержки принятия решений по совершенствованию документооборотных процессов организации и повышению ее операционной эффективности в условиях риска. Программная реализация цифрового двойника зарегистрирована автором в Роспатенте [3].

*Научный руководитель — д.т.н. Бессмертный И. А.*

#### Список литературы

- [1] Степин Ю.П. Компьютерная поддержка формирования, многокритериального ранжирования и оптимизации управленческих решений в нефтегазовой отрасли / М.: Недра, 2016. 421 с.  
[2] ТАРАКАНОВ К.В., ОВЧАРОВ Л.А., ТЫРЫШКИН А.Н. Аналитические методы исследования систем / М.: Советское радио, 1974. 240 с.  
[3] ШЕХОВЦОВА И.Р. Информационно-аналитическая система «Управление рисками информационной безопасности системы электронного документооборота» (ИАС УРИБ СЭД) (свидетельство № 2025614866) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2025.

#### 4.57. Яшин Д.Ю., Лёзина И.В. Исследование применения однослойного перцептрона при решении задачи классификации заболеваний сердечно-сосудистой системы

Целью данной работы является изучение применения однослойного перцептрона в задаче классификации заболеваний сердечно-сосудистой системы по результатам ЭКГ. Актуальность поставленной задачи определяется высокой распространённостью данного типа заболеваний в мире. Использование искусственного интеллекта в данной области может быть полезным для диагностики и профилактики.

В настоящее время существуют различные подходы к классификации ЭКГ с использованием нейронных сетей. Применяются различные методы представления ЭКГ в задачах машинного обучения: исходная цифровая запись сигнала, изображения и временные ряды. В работе [1] приводятся обобщения ряда исследований, посвящённых классификации записей ЭКГ, при этом даётся перечень ти-

пов сетей и алгоритмов обучения, использованных в этих работах. Согласно опубликованным результатам, при применении сетей глубокого обучения возможно добиться точности классификации свыше 90%.

В данном исследовании использовался датасет [2], содержащий 1200 записей ЭКГ, преобразованных в наборы длительностей интервалов и зубцов кардиограммы (P, T, Q и др.). Данные разделены на четыре диагностические категории: нормальный синусовый ритм, аритмия, фибрилляция предсердий, сердечная недостаточность. Датасет был разделён на обучающую выборку (800 записей) и классификационную (400 записей). В качестве классифицирующей сети использовался однослойный перцептрон, реализованный на языке C# в соответствии с классической архитектурой [3].

Для обучения применялись следующие алгоритмы: классический градиентный спуск с обратным распространением ошибки, адаптивный градиентный спуск, алгоритм Нестерова и упрощённый алгоритм Гаусса — Ньютона. Алгоритмы адаптивного градиентного спуска и Нестерова хорошо известны и подробно описаны [4]. Алгоритм Гаусса — Ньютона в данном исследовании был реализован в упрощённом виде. Полная реализация является ресурсоёмкой, поэтому использована диагональная аппроксимация гессиана, при которой матрица считается диагональной. Это позволило вычислять изменение весов сети на основе локальных градиентов без больших вычислительных затрат.

Были проведены эксперименты по классификации данных ЭКГ с использованием сетей, обученных различными алгоритмами. Достигнуты следующие максимальные значения точности классификации:

1. 90% при обучении алгоритмом градиентного спуска (20 нейронов, 200 эпох);
2. 95% при обучении упрощённым алгоритмом Гаусса — Ньютона (20 нейронов, 75 эпох);
3. 95.75% при обучении алгоритмом адаптивного градиентного спуска (20 нейронов, 200 эпох);
4. 97.25% при обучении алгоритмом Нестерова (10 нейронов, 450 эпох).

Таким образом, можно сделать вывод об эффективности применения однослойного перцептрона при классификации заболеваний сердечно-сосудистой системы по данным ЭКГ. Наилучшие результаты были достигнуты при обучении с использованием алгоритма Нестерова.

#### Список литературы

- [1] GUPTA U., PALURU N. A comprehensive review on efficient artificial intelligence models for classification of abnormal cardiac rhythms using electrocardiograms // Heliyon, 2024. Vol. 10. Iss. 5.
- [2] ECG of cardiac ailments dataset. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.kaggle.com/datasets/](https://www.kaggle.com/datasets/akki2703/ecg-of-cardiac-ailments-dataset?resource=download)

akki2703/ecg-of-cardiac-ailments-dataset?resource=download (дата обращения: 09.09.2025).

- [3] Методы оптимизации нейронных сетей. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/318970> (дата обращения: 09.09.2025).
- [4] ХАЙКИН С. Нейронные сети: полный курс / пер. с англ. Н.Н. Куусуль и А.Ю. Шелестовой, ред. Н.Н. Куусуль. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1104 с.

## Алфавитный указатель

### **Альгашев Геннадий Андреевич**

*Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева (Самара), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 45, 48, 53, 57

### **Ануфриев Михаил Владимирович**

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (Самара), Россия*  
mikhail\_anufriev2002@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 46

### **Арендаренко Максим Сергеевич**

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (Новосибирск), Россия*  
m.arendarenko@inbox.ru  
Программа/тезисы: стр. 7, 27

### **Астахов Артур Михайлович**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург), Россия*  
astahov\_am@spbstu.ru  
Программа/тезисы: стр. 47

### **Ашыров Валех Гусейнович**

*Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (Москва), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 74

### **Базылев Дмитрий Николаевич**

*Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики (Санкт-Петербург), Россия*  
bazylevd@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 7

### **Бакин Артем Олегович**

*Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики (Санкт-Петербург), Россия*  
dr.artem01@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 47

### **Бакшеев Иван Дмитриевич**

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск), Россия*  
dczpix@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 48

### **Балохонов Василий Русланович**

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (Томск), Россия*  
vbalokhonov@ispms.ru  
Программа/тезисы: стр. 8

### **Баранчиков Василий Романович**

*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия*  
v.baranchikov@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 9

### **Барбасова Татьяна Александровна**

*Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 77

### **Белосков Максим Евгеньевич**

*Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 63

### **Беляев Егор Сергеевич**

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия*  
e.belyaev1@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 9

### **Бернар Аликс Виктор Лео**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
alix.bernard9@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 35

### **Болдаков Валерий Сергеевич**

*ООО «Авито Тех» (Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 6

### **Бондаренко Иван Юрьевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 6

### **Бородин Михаил Русланович**

*Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 63

### **Бороздин Павел Александрович**

Программа/тезисы: стр. 55

### **Брызгалин Данила Михайлович**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва), Россия*  
danila.bryzgalin@math.msu.ru  
Программа/тезисы: стр. 10

### **Бугоец Иван Андреевич**

*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия*  
bugoecz@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 10

**Бурнин Марк Артемьевич**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
markburnin25@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 11

**Вардосанидзе Отари Доментиевич**

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (Новосибирск), Россия*  
o.vardosanidze@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 12

**Вегнер Юрий Сергеевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
y.vegner@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 35

**Веткина Анна Васильевна**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
anuyavetkina@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 12

**Володько Ольга Станиславовна**

*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия*  
olga.pitaliskaya@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 6, 73

**Волосатова Виктория Сергеевна**

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет им. Ж.И. Алфёрова РАН (Санкт-Петербург), Россия*  
volosatovavictoria@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 13

**Гарбузов Дмитрий Николаевич**

*НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета (Томск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 16

**Гатиятуллина Диана Дамировна**

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (Томск), Россия*  
gdiana0510@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 13, 17

**Гемузов Артем Сергеевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
a.gemuzov@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 36

**Гоголев Алексей Сергеевич**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
gogolev@tpu.ru  
Программа/тезисы: стр. 51

**Голомолзина Асия Владимировна**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 27

**Голыжбина Юлия Юрьевна**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
y.golyzhbina@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 36

**Горбунов Егор Вадимович**

*Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева (Самара), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 45

**Горбунова Ксения Дмитриевна**

*Красноярский математический центр (Красноярск), Россия*  
gorbunova.kd@icm.krasn.ru  
Программа/тезисы: стр. 14

**Гридяев Егор Алексеевич**

*Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева (Самара), Россия*  
gridyaeveastud@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 48

**Губер Юлия Владимировна**

*Алтайский государственный университет (Барнаул), Россия*  
yulia.guber@inbox.ru  
Программа/тезисы: стр. 15

**Гунько Тимур Витальевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
t.gunko@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 49

**Гурин Евгений Иванович**

*Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики (Санкт-Петербург), Россия*  
zhenyagurin@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 50

**Дворецкая Лилия Николаевна**

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет им. Ж.И. Алфёрова РАН (Санкт-Петербург), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 13

**Джанбекова Алина Руслановна**

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (Москва), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 27

**Джаркинов Руслан Бекзатович**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
ruslandzarkinov@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 51

**Евсюков Кирилл Нахрузович**

*Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева (Самара), Россия*  
qwert12345koi@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 51

**Елисеев Даниил Станиславович**

*Новосибирский государственный университет экономики и управления (Новосибирск), Россия*  
8daniil.eliseev@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 52

**Емельянова Евгения Сергеевна**

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (Томск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 25

**Еремчук Максим Павлович**

*Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), Россия*  
eremchukmp@susu.ru  
Программа/тезисы: стр. 15

**Ефремов Максим Андреевич**

*НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета (Томск), Россия*  
33murman@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 16

**Жестков Алексей Сергеевич**

*Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева (Самара), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 53

**Журавлев Вячеслав Александрович**

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск), Россия*  
slawajur@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 53

**Землянов Александр Викторович**

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (Томск), Россия*  
zem.aleks99@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 17

**Зиборова Александра Владимировна**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 27

**Злыгостев Антон Игоревич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
a.zlygostev@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 37

**Ильин Матвей Игоревич**

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН, ООО «Тру Инжиниринг» (Новосибирск), Россия*  
ilyin.matvey29@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 54

**Ильиных Тимур Сергеевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
t.ilinykh@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 38

**Ильяшев Виктор Максимович**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
v.ilyashev@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 17

**Исмагилов Радик Рустемович**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
rri10@tpu.ru  
Программа/тезисы: стр. 38

**Каблуков Сергей Иванович**

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 9

**Кавеев Андрей Камилевич**

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет им. Ж.И. Алфёрова РАН (Санкт-Петербург), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 13

**Каграманян Давид Геворгович**

*Научный центр в Черноголовке Института физики твёрдого тела им. Ю.А. Осипьяна РАН (Черноголовка), Россия*  
dgkagramanyan@miem.hse.ru  
Программа/тезисы: стр. 39

**Казакова Дарья Игоревна**

*Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева (Самара), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 48

**Калякин Тимофей Сергеевич**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 12

**Канашев Евгений Александрович**

*Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 77

**Капитонов Алексей Антонович**

*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия*  
alekskap99@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 18

**Карабцов Богдан Алексеевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
b.karabtsov@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 39

**Кареева Евгения Дмитриевна**

*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 79

**Кашеева Александра Евгеньевна**

*Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), Россия*  
cashееva.alexandra@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 18

**Квас Андрей Тимофеевич**

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (Новосибирск), Россия*  
superadrenoline3000@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 40

**Кислин Артём Викторович**

*Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия*  
kislin.art@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 19

**Кладов Александр Владимирович**

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск), Россия*  
a.kladov@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 19

**Ключанцев Владислав Сергеевич**

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (Новосибирск), Россия*  
vsklyuchantsev@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 20

**Козьмин Артём Дмитриевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
a.kozmin@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 55

**Коноваленко Оксана Вячеславовна**

*Волгоградский государственный университет (Волгоград), Россия*  
oksana\_konovalenko@volsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 55

**Королев Владислав Сергеевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
v.korolev@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 56

**Косилов Илья Олегович**

*Национальный исследовательский университет «МЭИ» (Москва), Россия*  
ilyasogood@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 56

**Котлер Василий Дмитриевич**

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск), Россия*  
vaskotler@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 40

**Котов Сергей Владимирович**

*Научно-технологический университет «Сириус» (Сочи), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 27

**Кремущенко Полина Александровна**

*Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева (Самара), Россия*  
polinakremuschenko@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 57

**Кубракова Екатерина Александровна**

*Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет) (Долгопрудный), Россия*  
ekubrakova@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 58

**Кудрявцева Анна Алексеевна**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
a.kudryavtseva@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 58

**Кузина Виктория Константиновна**

*Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева (Самара), Россия*  
kuzina2004@internet.ru

Программа/тезисы: стр. 45

**Кузнецов Максим Олегович**

*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия*  
m.kuznetsov@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 59

**Кузьмин Владислав Вячеславович**

*Волгоградский государственный университет (Волгоград), Россия*  
vlad329@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 20

**Кузьмин Егор Александрович**

*Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (Москва), Россия*

Программа/тезисы: стр. 74

**Кулясов Никита Владимирович**

*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия*  
gazor@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 59

**Лапин Василий Николаевич**

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (Новосибирск), Россия*  
v.lapin@nsu.ru

Программа/тезисы: стр. 17

**Лапушинский Александр Сергеевич**

*Новосибирский государственный университет, Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск), Россия*

a.lapushinskii@g.nsu.ru

Программа/тезисы: стр. 60

**Лебедев Роман Константинович**

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

Программа/тезисы: стр. 60

**Лев Никита Андреевич**

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

Программа/тезисы: стр. 6

**Лёзина Ирина Викторовна**

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

Программа/тезисы: стр. 68, 80

**Ликсонова Дарья Игоревна**

*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия*

LiksonovaDI@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 41

**Лобач Иван Александрович**

*Институт автоматизации и электротехники СО РАН (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 9

**Ляховский Максим Вадимович**

*Сбер (Москва), Россия*

maxim.lyahovsky@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 7, 42

**Мадияров Куан**

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

kuan.mad@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 61

**Макаров Евгений Евгеньевич**

*Алтайский государственный университет (Барнаул), Россия*

evgeniimakarov1995@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 21

**Максимова Анна Алексеевна**

*Институт космических и информационных технологий СФУ, Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия*

sokolova.ann2001@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 21

**Мальцев Василий Михайлович**

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

vasye-malzev@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 53

**Манаев Алексей Андреевич**

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

manaeff.leha@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 22

**Мандарханов Данил Михайлович**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*

d.mandarkhanov@g.nsu.ru

Программа/тезисы: стр. 23

**Масеевский Антон Михайлович**

*Институт автоматизации и электротехники СО РАН, Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*

ultnie@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 61

**Матвеев Иван Васильевич**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 23

**Матвеева Ирина Александровна**

*Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева (Самара), Россия*  
rimenova.0312@list.ru  
Программа/тезисы: стр. 67

**Мерзликин Борис Сергеевич**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
merzlikin@tpu.ru  
Программа/тезисы: стр. 23, 38, 51

**Можаров Алексей Михайлович**

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет им. Ж.И. Алфёрова РАН (Санкт-Петербург), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 13, 30

**Мухамад Ибрагим**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
ibragim1@tpu.ru  
Программа/тезисы: стр. 62

**Мучин Максим Павлович**

*Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (Новосибирск), Россия*  
maxim.sibguti@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 63

**Назаров Никита Андреевич**

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (Новосибирск), Россия*  
nazarov.nik.an@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 40

**Намаконов Алексей Юрьевич**

*Иркутский государственный университет (Иркутск), Россия*  
leha.namakonov@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 64

**Неверов Андрей Вячеславович**

*Научно-технологический университет «Сириус» (Сочи), Россия*  
a.neverov@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 42

**Немоляев Тимофей Вячеславович**

*Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева (Самара), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 48

**Новгородова Анастасия Николаевна**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
annicnov@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 23

**Обершт София Дмитриевна**

*Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН (Иркутск), Россия*  
s.obersht@alumni.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 64

**Овсянников Иван Владимирович**

*Новосибирский государственный университет, Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск), Россия*  
i.ovsyannikov2@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 65

**Орехова Диана Александровна**

*Инженерно-технологическая академия ЮФУ (Таганрог), Россия*  
diaorekhova@sfedu.ru  
Программа/тезисы: стр. 65

**Останин Павел Антонович**

*Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет) (Долгопрудный), Россия*  
ostanin.pavel@phystech.edu  
Программа/тезисы: стр. 24

**Павский Кирилл Валерьевич**

*Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (Новосибирск), Россия*  
pkv@isp.nsc.ru  
Программа/тезисы: стр. 43

**Патрин Георгий Андреевич**

*Новосибирский государственный университет, Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск), Россия*  
g.a.patrin.pdl@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 43

**Пекарская Татьяна Андреевна**

*Алтайский государственный университет (Барнаул), Россия*  
pekarskayat@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 24

**Пермяшкин Дмитрий Андреевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
d.permiashkin@g.nsu.ru

Программа/тезисы: стр. 66

**Пестунов Андрей Игоревич**

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

Программа/тезисы: стр. 77

**Петухов Константин Валерьевич**

*Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия*  
kostyapetyhov@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 25

**Пименова Ирина Александровна**

*Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева (Самара), Россия*  
rimenova.0312@list.ru

Программа/тезисы: стр. 67

**Писарев Максим Александрович**

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (Томск), Россия*  
pisarev@ispms.ru

Программа/тезисы: стр. 25

**Пискунов Сергей Александрович**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
phoenix377ss@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 51

**Платонова Марина Владимировна**

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск), Россия*

gumoznaya@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 40

**Покидова Ксения Сергеевна**

*Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (Москва), Россия*

Программа/тезисы: стр. 74

**Полевода Михаил Алексеевич**

*Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева (Самара), Россия*  
crystal\_upturns.6n@icloud.com

Программа/тезисы: стр. 68

**Поляков Игорь Андреевич**

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (Самара), Россия*  
diezell@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 68

**Поляков Максим Валентинович**

*Волгоградский государственный университет (Волгоград), Россия*  
m.v.polyakov@volsu.ru

Программа/тезисы: стр. 26

**Полянчикова Дарья Витальевна**

*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 6

**Попов Дмитрий Николаевич**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва), Россия*  
dr.dmitrii2000@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 69

**Ревун Артем Леонидович**

*Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН (Новосибирск), Россия*  
rm@artemrevun.ru

Программа/тезисы: стр. 43, 70

**Рудин Сергей Алексеевич**

*Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН (Новосибирск), Россия*  
rudin@isp.nsc.ru

Программа/тезисы: стр. 43

**Рудов Михаил Сергеевич**

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск), Россия*  
sanctumdeus@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 71

**Рыбков Михаил Викторович**

*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия*  
mikhailrybkov@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 26

**Рыжков Илья Игоревич**

*Институт космических и информационных технологий СФУ, Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 21

**Рябушкин Сергей Владимирович**

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (Санкт-Петербург), Россия*

serg.gyabuschkin@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 26

**Савелова Ирина Александровна**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
i.savelova@g.nsu.ru

Программа/тезисы: стр. 71

**Самойлов Мирон Вячеславович**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
m.samoilov@g.nsu.ru

Программа/тезисы: стр. 27

**Седойкин Ратмир Сергеевич**

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

Программа/тезисы: стр. 48

**Семисалов Борис Владимирович**

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

Программа/тезисы: стр. 10

**Сибин Антон Николаевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 15, 24

**Сиденко Матвей Евгеньевич**

*Новосибирский государственный университет, Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск), Россия*  
m.sidenko@g.nsu.ru

Программа/тезисы: стр. 72

**Сингин Александр Николаевич**

*Национальный исследовательский университет «МЭИ» (Москва), Россия*  
sasha.singin@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 72

**Сиротинин Анатолий Андреевич**

*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия*  
slitch@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 73

**Ситнов Владимир Евгеньевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 60

**Скиба Василий Савельевич**

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск), Россия*  
vassiliyskiba@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 27

**Сороковых Дарья Анатольевна**

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

Программа/тезисы: стр. 79

**Стояновская Ольга Петровна**

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

Программа/тезисы: стр. 27

**Сухинина Ксения Сергеевна**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
k.sukhinina@g.nsu.ru

Программа/тезисы: стр. 28

**Суховерхова Диана Дмитриевна**

*Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН (Москва), Россия*

diana.sukhoverkhova@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 44

**Тимохин Александр Михайлович**

*Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (Москва), Россия*

data.sup@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 74

**Толстых Маргарита Анатольевна**

*Донецкий государственный университет (Донецк), Россия*

physicisto@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 28

**Томникова Ксения Евгеньевна**

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

Программа/тезисы: стр. 74

**Трусов Константин Владимирович**

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

k.trusov@g.nsu.ru

Программа/тезисы: стр. 29

**Уразова Карина Михайловна**

*Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (Москва), Россия*

karinaurazowa2@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 74

**Урдин Павел Сергеевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
p.urdin@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 75

**Утюпина Варвара Юрьевна**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 27

**Уханов Максим Александрович**

*Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева (Самара), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 53

**Федоров Владимир Викторович**

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет им. Ж.И. Алфёрова РАН (Санкт-Петербург), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 13, 30

**Фунтикова Анастасия Сергеевна**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург), Россия*  
n.fn@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 30

**Хамикова Марина Александровна**

*Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет) (Долгопрудный), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 24

**Хомчук Евгений Павлович**

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Москва), Россия*  
ERkhomchuk@mephi.ru  
Программа/тезисы: стр. 75

**Хорунженко Аркадий Сергеевич**

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия*  
a.khorunzhenko@g.nsu.ru  
Программа/тезисы: стр. 30

**Цгоев Чермен Аланович**

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск), Россия*  
smotca1595@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 31

**Чеглов Егор Романович**

*Новосибирский государственный университет экономики и управления (Новосибирск), Россия*  
e.for.work@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 76

**Ченцов Сергей Васильевич**

*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 41

**Черевко Наталья Николаевна**

*Новосибирский государственный университет экономики и управления (Новосибирск), Россия*  
natalischerevko90@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 77

**Черепанова Светлана Андреевна**

*Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), Россия*  
cherapanova\_sa@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 77

**Черненко Иван Михайлович**

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия*  
cheriv98@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 77

**Чусовитина Александра Игоревна**

*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия*  
chusovitina2001@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 32

**Шанько Юрий Вадимович**

*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 79

**Шаров Владислав Андреевич**

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет им. Ж.И. Алфёрова РАН (Санкт-Петербург), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 30

**Шатилов Данил Андреевич**

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Новосибирск), Россия*  
dan.shatilov@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 78

**Шахин Раним**

*Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики (Санкт-Петербург), Россия*  
raneem.a.shaheen@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 7

**Шевелев Евгений Игоревич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
e.shevelev@g.nsu.ru

Программа/тезисы: стр. 32

**Шевелькова Валерия Юрьевна**

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

sgohs@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 79

**Шехова Анна Андреевна**

*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия*  
okvaylom@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 79

**Шеховцова Ирина Романовна**

*Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики (Санкт-Петербург), Россия*

irshekhovtsova@itmo.ru

Программа/тезисы: стр. 80

**Шишаев Глеб Юрьевич**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
shishaevgy@hw.tpu.ru

Программа/тезисы: стр. 12, 23, 51

**Школдин Антон Алексеевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 27

**Шульженко Иван Андреевич**

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Москва), Россия*

Программа/тезисы: стр. 75

**Шутов Алексей Валерьевич**

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

Программа/тезисы: стр. 20

**Юношева Елена Вячеславовна**

*Научно-образовательный центр «Газпромнефть - НГУ» (Новосибирск), Россия*

lena21012001y@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 33

**Ямов Андрей Андреевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*

a.yamov@g.nsu.ru

Программа/тезисы: стр. 33

**Яркимбаева Ирина Андреевна**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
iah11@tpu.ru

Программа/тезисы: стр. 34

**Яшин Даниил Юрьевич**

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

dyashin36@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 80

**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., Скиба В.С., Синявский Ю.Н.,  
Рылов С.А.

**Компьютерная верстка в системе  $\LaTeX$**

Гусев О.И., Скиба В.С., Синявский Ю.Н.,  
Рылов С.А., Горынин А.Г., Патрин Г.А.