

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»

Сборник избранных тезисов работ лауреатов

Международной Зимней научной
сессии СНО НИЯУ МИФИ

Москва, Россия. 19-28 декабря 2024 года

УДК: 001.8[004:5:60:33](06)
ББК: 72.4(2):32.97:2
С23

Сборник избранных тезисов работ лауреатов Международной Зимней научной сессии СНО НИЯУ МИФИ (19-28 декабря 2024 г.)/ Студенческое научное общество НИЯУ МИФИ. – М.: НИЯУ МИФИ, 2025. – 46 с.

Сборник включает тезисы докладов, представленных обучающимися по программам бакалавриата, специалитета и магистратуры НИЯУ МИФИ, МФТИ, МГУ. Работа Научной сессии организована по секциям: машинное обучение и анализ данных, теоретическая и прикладная физика, химические и биомедицинские технологии, астрофизика, гравитация и космология, конструирование и инжиниринг, программная инженерия, прикладная математика, экономика и бизнес-информатика.

Для специалистов в области технических наук, преподавателей, аспирантов, студентов технических специальностей.

Публикации изложены в авторской редакции с минимальными техническими исправлениями.

Тезисы получены до 28 декабря 2024 года.

Ответственный редактор Морозова С. А.

© Авторы статей, 2024

© Оформление: НИЯУ МИФИ, 2025

Подписано в печать 04.06.2025. Формат 60x84 1/16.

Печ. л. 3,25. Изд. №007-3. Тираж 20 экз. Заказ №75.

*Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»,*

Типография НИЯУ МИФИ

115409, Москва, Каширское ш., 31

Оглавление

Машинное обучение и анализ данных	5
Создание AI-ассистента	5
Разработка программной подсистемы интеллектуального анализа отдельно стоящих элементов медицинских цитологических снимков	7
Теоретическая и прикладная физика	9
Стенд цифровой обработки электромиографического сигнала	9
Химические и биомедицинские технологии	11
Автоматизированный контроль множественных метастазов на основе сегментации с применением сверточной нейронной сети.....	11
Получение комплексов наночастиц серебра и флавиномононуклеотида для фотодинамической инактивации бактерий	13
Исследование процессов самосборки функциональных-спейсерных липидов в мицеллоподобные структуры	15
Астрофизика, гравитация и космология	17
Моделирование двухпозитронной моды распада частиц скрытой массы	17
Конструирование и инжиниринг	19
Автоматический эксперимент	19
Исследования по созданию высокоинтеллектуальных телеуправляемых и автономных необитаемых подводных аппаратов.....	21
Разработка прототипа «Аппарат подводной видеосъёмки»	23
Программная инженерия	25
Разработка графического окружения на основе клиент-серверной архитектуры.....	25
Системы управления коммерческими отношениями в Активном Энергетическом Комплексе	27
Создание трекера привычек.....	29
Разработка системы конструирования и оптимизации вычислений	31
Прикладная математика	33

Исследование влияния весового коэффициента в функции потерь PINN на точность решения.....	33
Исследование цилиндрических функций Бесселя нулевого и первого порядка при построении решения на различных сетках обучения PINN	35
Исследование влияния различных формулировок задачи Коши для уравнения гармонического осциллятора с вынуждающей силой на точность и эффективность метода физически-информированных нейронных сетей (PINN).....	37
Молекулярнодинамические расчеты сдвиговой вязкости водного раствора хлорида натрия: апробация модели и анализ ее вычислительной сложности	39
Решение задачи Коши для уравнения Дуффинга с использованием PINN	41
Асимптотики обобщенного уравнения Бюргера-Хаксли методами степенной геометрии.....	43
Экономика и бизнес-информатика.....	45
Проектирование информационной системы для построения маршрутов ледоколов в Арктике.....	45

Машинное обучение и анализ данных

Создание AI-ассистента

Бабанов Арсений Александрович*, Якубенко Ярослав Олегович

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *arseniy.babanov@yandex.ru*

Аннотация

Проект посвящен разработке AI-ассистента для студентов НИЯУ МИФИ, предоставляющего ответы на вопросы, связанные со студенческой активностью. В основе системы лежит архитектура Retrieval-Augmented Generation (RAG), объединяющая векторную базу данных FAISS и языковую модель Yandex GPT. Ассистент автоматически собирает информацию о студенческих активностях, анализируя и обрабатывая информацию из различных студенческих сообществ, методических материалов и официальных документов. В решение успешно интегрирован программный интерфейс для взаимодействия с базой данных и Telegram-ботом. Проект демонстрирует потенциал использования архитектуры RAG при разработке систем информационной поддержки в образовательной среде.

Ключевые слова: AI-ассистент, RAG, FAISS, LLM.

Целью данной работы является создание инструмента, обеспечивающего оперативный доступ к информации о студенческих активностях в НИЯУ МИФИ. Актуальность работы обусловлена экспоненциальным ростом объема данных, что затрудняет процесс оперативного получения студентами актуальных сведений. В связи с появлением значительных достижений в развитии больших языковых моделей (LLM), характеризующихся увеличением размеров контекстного окна и снижением вычислительных затрат, стало возможным создание более сложных и эффективных информационных систем, позволяющих обрабатывать значительные объемы взаимосвязанных данных.

Разработанный AI-ассистент основан на архитектуре RAG, позволяющей использовать большие языковые модели для создания точных и информативных ответов на вопросы пользователя, благодаря использованию релевантной информации, найденной в существующих хранилищах данных. В качестве LLM используется YandexGPT. Генерация ответа производится с

помощью специальных шаблонов. В них интегрируется информация, релевантная запросу пользователя, позволяя создать итоговый запрос, который будет подан на вход модели для генерации ответа. Хранение информации и быстрый поиск релевантных фрагментов осуществляется с помощью векторной базы данных, реализованной с использованием библиотеки Faiss. Сбор данных осуществлялся из открытых источников, включая социальные сети (ВКонтакте), методические материалы и официальные документы. Перед размещением в векторной базе данных данные подвергаются очистке, нормализации и векторизации с помощью языковой модели BERT. Программный интерфейс на основе FastAPI, обеспечивает взаимодействие между компонентами системы. Интеграция с Telegram позволяет пользователям взаимодействовать с ассистентом в удобном формате.

Алгоритм работы системы начинается с этапа векторизации запроса пользователя с целью представления его в векторном пространстве, далее происходит поиск в векторной базе данных наиболее релевантных фрагментов текста, соответствующих запросу. В соответствии с полученными результатами пользовательский запрос комбинируется с найденными фрагментами для формирования контекста, передаваемого в LLM, которая генерирует ответ на основе полученного контекста.

Экспериментальное тестирование продемонстрировало эффективность разработанного AI-ассистента. Система успешно отвечала на вопросы, связанные с различными аспектами студенческой жизни в НИЯУ МИФИ. Применение архитектуры RAG позволило обеспечить актуальность предоставляемой информации за счет возможности регулярного обновления базы данных. Разработанный AI-ассистент представляет собой эффективное решение для поддержки студентов НИЯУ МИФИ, обеспечивая оперативный доступ к необходимым сведениям о студенческих активностях.

Список литературы

1. Lewis P., [et al]. *Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks // Advances in Neural Information Processing Systems*. — 2020. — Vol. 33. — P. 9459–9474.
2. Devlin J. *BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // arXiv preprint arXiv:1810.04805*. — 2018. — P.14.
3. Келен О., Балете М.-А. *Разработка приложений на базе GPT-4 и ChatGPT*. — Астана: Спринт Бук, 2024. — С. 192: ил. — ISBN 978-601-08-3731-7.

**Разработка программной подсистемы
интеллектуального анализа отдельно стоящих
элементов медицинских цитологических снимков**

Миронов Андрей Михайлович*¹, Ложкин Илья Александрович¹,
Зайцев Константин Сергеевич¹, Дунаев Максим Евгеньевич¹,
Шифман Борис Михайлович²

¹НИЯУ МИФИ

²ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» Минздрава РФ

*e-mail: *andrey_mironov02@mail.ru*

Аннотация

Была проанализирована система классификации Bethesda[1], выделены основные информативные признаки. Был разработан алгоритм работы с изображениями. Обучены и протестированы нейросетевые модели семантической сегментации выбранных признаков.

Ключевые слова: сегментация, цитология, щитовидная железа.

В ходе анализа классификации Bethesda были выбраны основные информативные признаки: клетки с псевдовключениями, клетки Гюртле, С-клетки, которые представлены на рисунке 1.

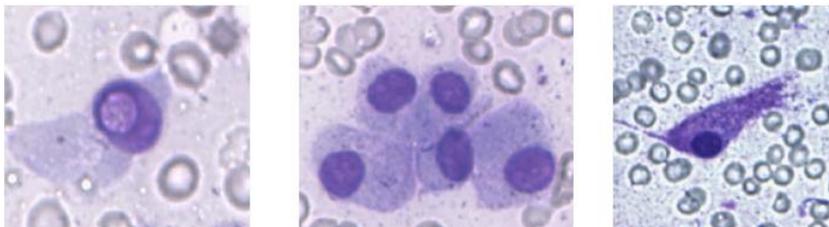


Рис. 1: Информативные признаки: клетка с псевдовключением, клетки Гюртле, С-клетка.

Был разработан алгоритм подготовки поступающих цитологических снимков и их обработки. Разделенный на плитки 256x256 пикселей снимок передается в модель для поиска информативных признаков и контуров на полученных сегментированных масках. Все полученные контуры объединяются в выходной файл.

В ходе обучения и тестирования моделей, предлагаемых в источнике [2], была использована метрика Dice score:

$$DSC = \frac{2|G \cap P|}{|G| + |P|} \quad (1)$$

Была выбрана модель Unet++, подобраны её оптимальные параметры, в ходе обучения по формуле 1 была рассчитана метрика, график которой представлен на рисунке 2.

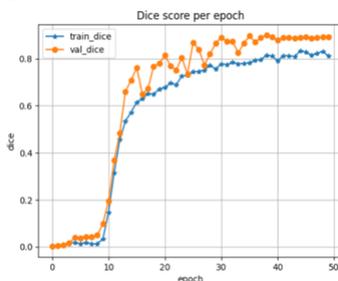


Рис. 2: График метрики Dice score в ходе обучения модели Unet++ с выбранными параметрами.

В результате была создана система обработки изображений на основе модели Unet++, использующая параметры для псевдовключения – Dice score = 0.909, С-клетки – Dice score = 0.895, Клетки Гюртле – Dice score = 0.895. Модель можно использовать в качестве инструмента для первичной обработки изображений для повышения качества дальнейшей проверки результатов оператором.

Список литературы

1. Ali S.Z., [et al]. *WITHDRAWN: The 2023 Bethesda System for Reporting Thyroid Cytopathology*. — 2023. — DOI: [10.1089/thy.2023.0141](https://doi.org/10.1089/thy.2023.0141)
2. Dhalla S., [et al]. *Semantic Segmentation of Palpebral Conjunctiva Using Predefined Deep Neural Architectures for Anemia Detection // Procedia Computer Science*. — 2023. — Vol. 218. — P. 328–337.

Теоретическая и прикладная физика

Стенд цифровой обработки электромиографического сигнала

Карчевский Станислав Филиппович, Чиркова Яна Дмитриевна,
Деева Ольга Кирилловна

НИЯУ МИФИ

*e-mail: stenakiller@mail.ru

Аннотация

В данной работе создана установка по сбору ЭМГ данных для формирования датасета в рамках подготовительного этапа исследования методов цифровой обработки электромиографического сигнала. Был получен спектр ЭМГ-сигнала и проведено сравнение ФНЧ, ФВЧ и полосового фильтра Баттерворта. Тестирование стенда показало его применимость в задачах формирования баз данных и цифровой обработки ЭМГ-сигнала для дальнейших исследований по распознаванию двигательной активности верхних конечностей.

Ключевые слова: бионический протез, электромиография.

Как правило, для обработки сигнала поверхностной электромиографии необходимо аппаратное усиление. В качестве упрощённого усилительного аналогового тракта был выбран типовой модуль усилителя AD8232 с наименьшим количеством фильтров, что необходимо при исследовании возможностей ЦОС. Преобразованный сигнал, был подан на аналоговый вход МК Arduino Uno и после аналогово-цифрового преобразования через COM-порт передавался на ПК (рисунок 1). Далее через эмуляцию последовательного порта осуществлялся сбор числовых значений в .csv/.txt файл.



Рис. 1: График метрики Dice score в ходе обучения модели Unet++ с выбранными параметрами.

Полученный текстовый файл обрабатывается с целью извлечения из сигнала информации об осуществляемом движении. Это было реализовано программой на языке Python с использованием библиотек `scipy.fft`, `scipy.signal`, `scipy.io.wavfile` и `pandas`. Функциональная схема цифровой обработки сигнала показана на рисунке 2. Для тестовой обработки ЭМГ-сигнала были выбраны



Рис. 2: Функциональная схема ЦОС ЭМГ-сигнала.

преобразование Фурье (результат на рисунке 3) и фильтры Баттерворта, как наиболее характерные.

В данной работе для обработки ЭМГ-сигналов используются фильтры Баттерворта второго порядка. В частности, применяются два фильтра низких и высоких частот с частотами среза 60 Гц и 1 кГц, которые позволяют минимизировать высокочастотные шумы и сохранять полезную информацию в сигнале. Кроме того, реализован полосовой фильтр Баттерворта второго порядка с полосой пропускания от 60 до 1000 Гц, что обеспечивает выборочное пропускание сигналов в заданном

диапазоне частот. Результат работы полосового фильтра Баттерворта представлен на рисунке 4.

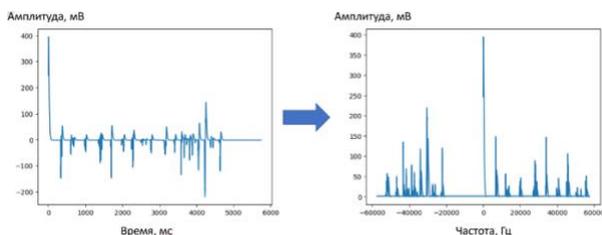


Рис. 3: Результат преобразования Фурье ЭМГ-сигнала.

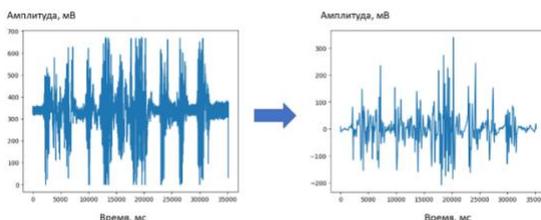


Рис. 4: Результат работы фильтра Баттерворта с полосой пропускания 60-1000 Гц.

Список литературы

1. Farina D., Jensen W., Akay M. (eds.). *Introduction to Neural Engineering for Motor Rehabilitation*. — 2013.
2. Merletti R., [et al]. *Technology and instrumentation for detection and conditioning of the surface electromyographic signal: state of the art* // *Clinical Biomechanics*. — 2009. — Vol. 24, № 2. — P. 122-134. — DOI: [10.1016/j.clinbiomech.2008.08.006](https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2008.08.006)
3. Болотов М.А., Мартынов Д.С. *Параллельные методы построения спектральных портретов с использованием преобразований Фурье* // *Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине*. — 2018. — 284 с.

Химические и биомедицинские ТЕХНОЛОГИИ

Автоматизированный контроль множественных метастазов на основе сегментации с применением сверточной нейронной сети

Кобякова Татьяна Андреевна

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *tasha_too@mail.ru*

Аннотация

В данной работе разработан алгоритм для сегментации метастазов головного мозга на изображениях, полученных с помощью МРТ. Метод ускоряет анализ, стандартизирует результаты и снижает человеческий фактор.

Ключевые слова: метастазы головного мозга, сегментация.

Метастазы головного мозга (МГМ) представляют сложную онкологическую патологию, требующую точного медицинского контроля [1]. Через 6 месяцев после радиохирургического лечения пациенты проходят МРТ для оценки динамики очагов, где традиционный волюметрический анализ ограничен субъективностью и временными затратами [2]. Автоматизация на основе сверточных нейронных сетей (CNN) решает эти проблемы, обеспечивая высокую воспроизводимость и точность, критически важные для лучевой терапии.

Разработан алгоритм, использующий CNN DenseNet121 для сегментации МГМ. Метод включает корегистрацию МРТ-изображений с библиотекой ANTsPy (метод SyNRA), и сегментацию с коэффициентом Dice = 0.8 [3]. Анализ динамики основан на пересечении масок, классифицирующем изменения по критериям RANO, с автоматическим расчетом объемов и сохранением данных в формате CSV [4]. Физическая основа метода опирается на обработку сигналов: DenseNet121 извлекает пространственные признаки через плотные связи слоев, оптимизируя чувствительность к малым очагам, а SyNRA моделирует анатомические деформации.

Метод ускоряет анализ, стандартизирует результаты и снижает человеческий фактор, что подтверждено высокой точностью сегментации.

Перспективы: интеграция мультимодальных данных (МРТ, ПЭТ, КТ) и дообучение CNN на разнообразных томографах.

Список литературы

1. Голанов А.В. [и др.] Радиохирургическое лечение метастазов в головной мозг // Злокачественные опухоли. — 2015. — № 4s2. — С. 58–65. — DOI: 10.18027/2224-5057-2015-4s2-58-65
2. Мельникова Е.А. Метастазы опухолей в головной мозг // Нейрохирургия. — 2005. — № 3. — С. 61–65.
3. Bakas S. [et al.] Identifying the best machine learning algorithms for brain tumor segmentation // arXiv preprint arXiv:1811.02629. — 2018.
4. Greenspan H., Van Ginneken B., Summers R.M. Deep learning in medical imaging // IEEE Transactions on Medical Imaging. — 2016. — Vol. 35, № 5. — P. 1153–1159.

Получение комплексов наночастиц серебра и флавиномононуклеотида для фотодинамической инактивации бактерий

Душина Анастасия Олеговна*^{1,2,3}, Степанов Максим Евгеньевич², Аржанов
Артем Игоревич^{2,4}, Кольченко Анна Михайловна², Егорова Татьяна
Владимировна², Хайдуков Евгений Валерьевич^{2,3}, Генералова Алла
Николаевна^{1,3}

¹НИЯУ МИФИ,

²МПУ,

³ИБХ РАН,

⁴ФИАН

*e-mail: *dushina02@gmail.com*

Аннотация

Фотодинамическая терапия представляет собой альтернативный вариант антимикробной терапии. Флавиномононуклеотид — это биосовместимый и доступный препарат, обладающий хорошими фотодинамическими свойствами, которые способны улучшить с помощью добавления серебряных наночастиц. В работе представлены результаты исследования комплекса на основе наночастиц серебра с флавиномононуклеотидом оптическими методами.

Ключевые слова: флавиномононуклеотид (ФМН), наночастицы серебра, фотодинамическая терапия.

Антимикробная фотодинамическая терапия является многообещающим методом, который использует взаимодействие света, фотосенсибилизатора и кислорода для генерации активных форм кислорода (АФК), способных разрушать клетки бактерий. Этот метод снижает риск возникновения резистентности, что является значительным преимуществом по сравнению с антибиотиками. Флавиномононуклеотид (ФМН), производное витамина В2, является эндогенным соединением с хорошими фотодинамическими свойствами [1]. Наночастицы серебра (AgNPs) способны эффективно инактивировать бактерии за счет разрушения клеточных мембран, ДНК и образования АФК. Сочетание спектров поглощения AgNPs и флуоресценции ФМН позволяет добиться эффективной передачи энергии и увеличивает генерацию АФК.

Антимикробная фотодинамическая терапия с использованием комплекса AgNPs и ФМН предлагает новые возможности для лечения бактериальных инфекций. В данном исследовании с помощью цитратного метода были синтезированы коллоидно-стабильные наночастицы серебра с пиком плазмонного резонанса на длине волны 435 нм. При облучении синим светом (450 нм) наблюдалось образование комплекса между наночастицами серебра и ФМН. Этот процесс сопровождался изменением цвета раствора с желтого на коричневый и образованием новой полосы поглощения.

Эффективность антимикробной фотодинамической активности комплекса наночастиц серебра с ФМН была оценена с использованием бактерий *E. coli*, экспрессирующих флуоресцентный белок mKate. Комплекс продемонстрировал большую фототоксичность по сравнению с образцами, содержащими только AgNPs или ФМН, что свидетельствует о большом потенциале данного подхода для антимикробной терапии.

Список литературы

1. Buchovec I., Vyčaitė E., Badokas K., Sužiedėlienė E., Bagdonas S. Application of antimicrobial photodynamic therapy for inactivation of *Acinetobacter baumannii* biofilms // *International Journal of Molecular Sciences*. — 2022. — Vol. 24, № 1. — P. 722. — DOI: [10.3390/ijms24010722](https://doi.org/10.3390/ijms24010722)
2. Youf R., Müller M., Balasini A. [et al.] Antimicrobial photodynamic therapy: Latest developments with a focus on combinatory strategies // *Pharmaceutics*. — 2021. — Vol. 13, № 12. — P. 1995. — DOI: [10.3390/pharmaceutics13121995](https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13121995)
3. Insińska-Rak M., Sikorski M., Wolnicka-Głubisz A. Riboflavin and its derivatives as potential photosensitizers in the photodynamic treatment of skin cancers // *Cells*. — 2023. — Vol. 12, № 18. — P.2304. — DOI: [10.3390/cells12182304](https://doi.org/10.3390/cells12182304)

Исследование процессов самосборки функциональных-спейсерных липидов в мицеллоподобные структуры

Гринь Константин Николаевич*^{1,3}, Димитрева Вероника Алексеевна^{2,3},
Олейников Владимир Александрович^{2,3}

¹*МГУ им. М.В. Ломоносова,*

²*НИЯУ МИФИ,*

³*ГНЦ ИБХ РАН,*

*e-mail: grinkostya@mail.ru

Аннотация

Проведено молекулярно-динамическое моделирование (МД) самосборки функциональных-спейсерных липидов (ФСЛ) в мицеллоподобные структуры из трех начальных приближений (случайного, периодического и бислойного). Показано, что в ходе МД ФСЛ формируют мицеллоподобные кластеры, состоящие из 3-8 молекул радиусом порядка 18.35 Å.

Ключевые слова: молекулярная динамика, функциональные-спейсерные липиды.

Проблема биодоступности лекарственных препаратов стоит очень остро. Большая часть лекарственных препаратов являются гидрофобными соединениями, в связи с чем их биодоступность вследствие их плохой растворимости в воде, является низкой. Актуальность работы заключается в увеличении биодоступности лекарственных форм за счёт их инкорпорирования в мицеллярные структуры и полости циклодекстринов по механизму «гость-хозяин» [1]. Это позволит снизить дозировку вводимого препарата и повысит эффективность его использования за счет увеличения эффективности инкапсуляции и высокой вместимости наночастиц. Целью работы является изучение процесса самосборки функциональных-спейсерных липидов (ФСЛ) на основе α -, β -циклодекстринов в мицеллоподобные структуры методом молекулярно-динамического моделирования (МД).

ФСЛ — молекулярный конструктор, состоящий из фосфолипидного хвоста, модифицированного гидрофильной молекулой посредством соединения последней при помощи линкера (спейсера) [2]. Исследуемые ФСЛ представляют следующую конструкцию: α -CD-CMG(4)lin-DOPE и β -CD-CMG(4)lin-DOPE, где CD = циклодекстрин (ЦД) (функциональная часть);

CMG = N-карбоксиметилглицин (спейсер),
DOPE = диолеилфосфатидилэтаноламин (липид).

Для проведения молекулярного моделирования исследуемые молекулы были построены в программном пакете Avogadro; при помощи пакета ATB [3] получены исходные топологии молекул (.itp). Модулем PyCGTool были сгенерированы крупнозернистые (CG) модели молекул в соответствии силовому полю MARTINI 3 [4]. Расчеты проводились в GROMACS 2024.3 [5]: NVT (V-rescale, 2.75 нс, $\tau_t = 0,1$ пс), NPT (Parrinello-Rahman, 750 пс, $\tau_p = 2$ пс), PVC, время основного расчета = 433,7 нс (β -CD) и 500 нс (α -CD), шаг = 13 фс.

В результате была создана схема подготовки молекул ФСЛ к проведению молекулярной динамики и рассчитаны 433,7 и 500 нс траектории ФСЛ на основе β -, α -циклодекстринов из 3-х начальных конфигураций (случайная, периодическая, бислой). В ходе проведения молекулярной динамики образуются мицеллоподобные агрегаты, состоящие в среднем из 3-8 молекул ФСЛ. Средний радиус гирации мицелл составил 18,35 Å. Выбор силового поля и разметка зёрен выполнена корректно, поскольку воспроизводятся физико-химические свойства циклодекстринов и липидов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-24-10046.

Список литературы

1. Dhiman P., Bhatia M. *Pharmaceutical applications of cyclodextrins and their derivatives* // *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*. — 2020. — Vol. 98, № 3. — P. 171-186. — DOI: [10.1007/s10847-020-01029-3](https://doi.org/10.1007/s10847-020-01029-3)
2. Korchagina E.Y., Henry S.M. *Synthetic glycolipid-like constructs as tools for glycobiology research, diagnostics, and as potential therapeutics* // *Biochemistry (Moscow)*. — 2015. — Vol. 80, № 7. — P. 857-871. — DOI: [10.1134/S0006297915070068](https://doi.org/10.1134/S0006297915070068)
3. Stroet M. [et al.] *Automated Topology Builder Version 3.0: Prediction of Solvation Free Enthalpies in Water and Hexane* // *Journal of Chemical Theory and Computation*. — 2018. — Vol. 14, № 11. — P. 5834-5845. — DOI: [10.1021/acs.jctc.8b00768](https://doi.org/10.1021/acs.jctc.8b00768)
4. Souza P.C.T. [et al.] *Martini 3: a general purpose force field for coarse-grained molecular dynamics* // *Nature Methods*. — 2021. — Vol. 18, № 4. — P. 382-388. — DOI: [10.1038/s41592-021-01098-3](https://doi.org/10.1038/s41592-021-01098-3)
5. Abraham M.J. [et al.] *GROMACS: High performance molecular simulations through multi-level parallelism from laptops to supercomputers* // *SoftwareX*. — 2015. — Vol. 1. — P. 19-25. — DOI: [10.1016/j.softx.2015.06.001](https://doi.org/10.1016/j.softx.2015.06.001)

Астрофизика, гравитация и КОСМОЛОГИЯ

Моделирование двухпозитронной моды распада частиц скрытой массы

Басов Ярослав Алексеевич

НИЯУ МИФИ

*e-mail: yabasov@mephi.ru

Аннотация

В данной работе проводится поиск возможного решения проблемы позитронной аномалии путем рассмотрения модели с двухпозитронной модой распада частиц скрытой массы и поиском моды с максимальным подавлением гамма-излучения.

Ключевые слова: позитронная аномалия, темная материя, скрытая масса.

Избыток позитронов в космических лучах, обнаруженный в экспериментах PAMELA [1] и нашедший подтверждение в данных экспериментов AMS-02 и Fermi-LAT [2-3], все еще остается без общепризнанного объяснения. В работе рассматриваются следующие возможные случаи массивных частиц скрытой массы: векторный бозон (заряд +2 или 0), скалярный бозон (заряд +2 или 0). В ходе работы выполняется проверка результатов исследования распада той же моды [4].

Создание расширений Стандартной модели, предполагающих существование рассмотренных частиц, было произведено с помощью программы FeynRules. В качестве входных данных использовались соответствующие лагранжианы частиц скрытой массы X и их взаимодействий, масса частицы X – 1000 ГэВ, спин 0 или 1 и заряд частицы 0 или +2. Моделирование распада частицы X в электроны, позитроны и фотоны производилось в программах CompHEP и MadGraph 5. Были рассмотрены следующие четыре моды распада частицы X на пару электрон-позитрон или позитрон-позитрон и фотон. Для оценки количества гамма-излучения были построены соответствующие зависимости отношения пар энергетических спектров мод распада $B\gamma$ от энергии фотона в конечном состоянии E (рис. 1).

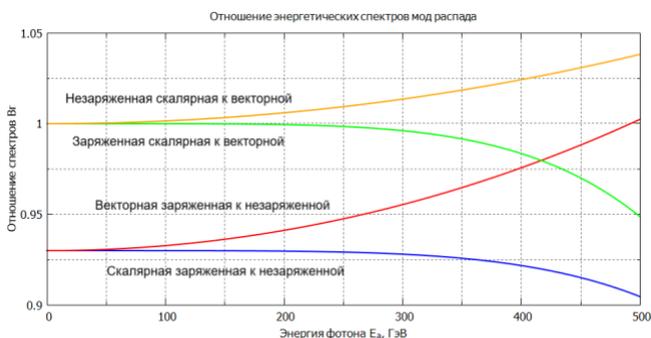


Рис.1: Зависимость отношений пар энергетических спектров мод распада от энергии фотона в конечном состоянии.

В результате была замечена малая разница в количестве сопутствующего гамма-излучения в рассмотренных модах распада. Получено, что в случае скалярной заряженной частицы скрытой массы и двухпозитронной моды распада наблюдается наименьшее количество гамма-излучения. Перспективным направлением для продолжения работы является рассмотрение фермионных частиц скрытой массы, а также многопозитронной моды распада с различными конфигурациями конечного состояния.

Список литературы

1. *Adriani O. [et al.] An anomalous positron abundance in cosmic rays with energies 1.5-100 GeV // Nature. — 2009. — Vol. 458. — P. 607-609. — DOI: [10.1038/nature07942](https://doi.org/10.1038/nature07942)*
2. *Aguilar M. [et al.] First Result from the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station: Precision Measurement of the Positron Fraction in Primary Cosmic Rays of 0.5-350 GeV // Physical Review Letters. — 2013. — Vol. 110, № 14. — Art. 141102. — DOI: [10.1103/PhysRevLett.110.141102](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.110.141102).*
3. *Ackermann M. [et al.] Measurement of Separate Cosmic-Ray Electron and Positron Spectra with the Fermi Large Area Telescope. — 2012. — Vol. 108, № 1. — Art. 011103. — DOI: [10.1103/PhysRevLett.108.011103](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.108.011103)*
4. *Barak R., Belotsky K., Shlepina E. Proposition of FSR Photon Suppression Employing a Two-Positron Decay Dark Matter Model to Explain Positron Anomaly in Cosmic Rays // Universe. — 2023. — Vol. 9, № 8. — P. 370. — DOI: [10.3390/universe9080370](https://doi.org/10.3390/universe9080370)*

Конструирование и инжиниринг

Автоматический эксперимент

Комаров Святослав Павлович*, Пахомов Денис Дмитриевич,
Рахматуллин Мурат Данисович, Антоненко Николай Витальевич,
Загртдинов Дамир Ильшатovich

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *spkom2006@mail.ru*

Аннотация

Целью проекта является создание устройства на основе платы ESP32-WROVER-DEV Camera (ESP32-CAM), с возможностью считывать данные с любого аналогового и цифрового датчика. В ходе работы был разработан прототип с собственным корпусом и ПО.

Ключевые слова: компьютерное зрение, обработка изображений, автоматизация, стрелочные приборы.

В настоящее время стрелочные приборы все еще актуальны в науке и в промышленности. В частности, на предприятиях с устаревшим оборудованием, чья замена нерентабельна. Но также существует проблема с автоматизацией экспериментов и производственных процессов, в которых используются данные приборы. Один из способов решения – компьютерное зрение.

Для решения задачи компьютерного зрения были натренированы две полносвязные нейронные сети с использованием больших наборов данных изображений. Первая сеть предназначена для распознавания цифр, а вторая — для определения положения стрелки на приборе.

В ходе работы был разработан и собран прототип установки для снятия показаний с аналоговых и цифровых приборов, включающий в себя ПО, позволяющее полностью настраивать процесс снятия показаний, прошивку для платы, связывающие плату и приложение через сеть Wi-Fi, нейросеть для анализа показаний приборов. Также была создана и распечатана 3D модель корпуса. По итогам было получено устройство, частично готовое к использованию. Принцип работы устройства представлен на рисунке 1. В дальнейшем планируется разработать собственный штатив для камеры, улучшить и переработать ПО и нейросеть.

Установка представляет камеру с вычислительной платой, установленной на регулируемом штативе. Для защиты от внешних воздействий вся электроника заключена в разработанный нами корпус.

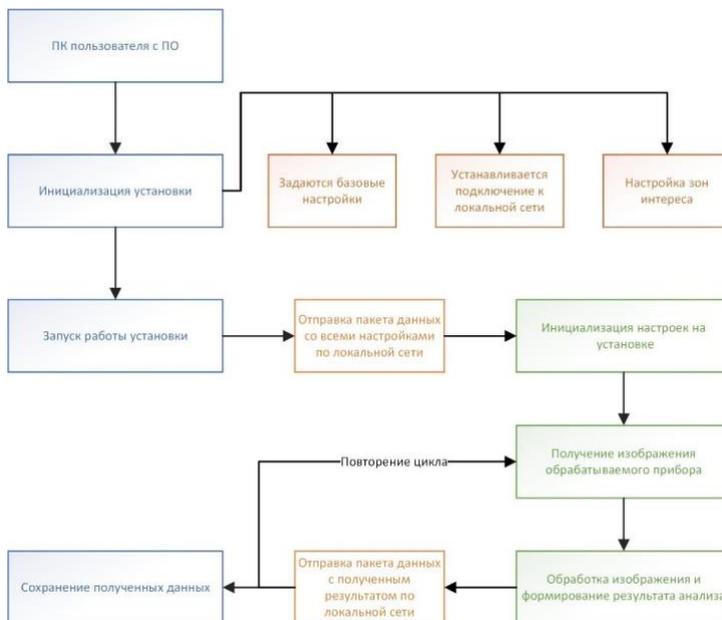


Рис. 1: Принцип работы устройства.

Список литературы

1. *Нейронные сети и компьютерное зрение [Электронный ресурс] : курс / авт.-сост. М. Романов, И. Слинко, Н. Капырин, А. Попов. — URL: <https://stepik.org/course/50352/syllabus> (дата обращения: 15.12.2024).*
2. *Малахов И. Аналоговые приборы учета: модернизировать или менять на цифровые? // ИКС медиа. — 2022. — № 1. — [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.iksmidia.ru/articles/5874161-Analogovye-pribory-ucheta-modernizi.html> (дата обращения: 17.12.2024).*

Исследования по созданию высокоинтеллектуальных телеуправляемых и автономных необитаемых подводных аппаратов

Поганов Егор Викторович*, Тимошенко Екатерина Евгеньевна,
Бурденков Артемий Александрович, Замятин Павел Александрович,
Юдов Антон Алексеевич

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *po.egor.07@mail.ru*

Аннотация

Рассмотрены вопросы создания высокоинтеллектуальных телеуправляемых и автономных необитаемых подводных аппаратов и подготовки демонстратора технологий. Определены перспективные направления развития.

Ключевые слова: подводный аппарат, телеуправление, АНПА, ТНПА.

В ходе исследования были проанализированы существующие в настоящее время мировые решения и сервисы в области подводного роботостроения [1], а также проведён тематический патентный поиск.

На основе полученных данных сформулированы ключевые требования к перспективным телеуправляемым и автономным подводным аппаратам (ТНПА и АНПА), включая решения для роевого использования [2].

Разработана архитектура демонстратора технологий (ДТ) ТНПА, предложены как базовая, так и опциональная функциональность, определены составные части (СЧ) ДТ и выбраны подходящие варианты их реализации.

В рамках работы был осуществлён выбор интерфейсов и протоколов для организации информационного обмена между составными частями демонстратора.

Также была подготовлена 3D-модель ДТ и его составных частей, визуализация которой представлена на рисунке 1. Демонстратор спроектирован в шестидвигательном варианте с шестью степенями свободы.

В ДТ использована схема распределённой обработки. Интеллектуальные подсистемы реализованы на базе бортового контроллера, бортового компьютера и пункта управления. Предполагается широкое использование технологий искусственного интеллекта, в том числе, для обработки информации, поступающей от полезной нагрузки ДТ.

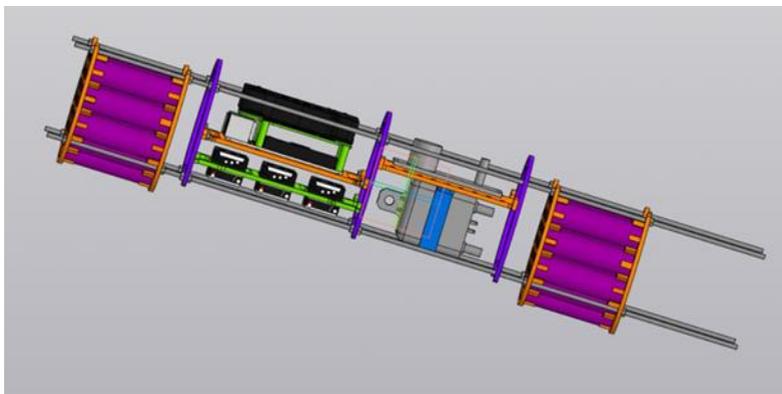


Рис. 1: Визуализация 3D-модели демонстратора технологий ТНПА.

Для дальнейшего развития проекта подобраны первоочередные потенциальные инвесторы. В настоящее время выполняются анализ спроса на рынке и подготовка соответствующего бизнес-плана. Приоритетным направлением первого этапа выбрано создание и продвижение ТНПА. В дальнейшем усиленное внимание предполагается уделять АНПА с технологиями квантовой навигации.

Список литературы

1. Байгутлина И. А. Реализация новых сервисов с использованием робототехнических комплексов // Славянский форум. – 2021. – № 4 (34). – С. 162–170.
2. Joordens M., Champion B. T. Underwater Swarm Robotics: Challenges and Opportunities // Handbook of Research on Design, Control, and Modeling of Swarm Robotics / Ed. by Y. Tan. — Hershey, PA: IGI Global, 2015. — Ch. 26. — P. 718–740. — DOI: [10.4018/978-1-4666-9572-6.ch026](https://doi.org/10.4018/978-1-4666-9572-6.ch026).

Разработка прототипа «Аппарат подводной видеосъёмки»

Сафонов Андрей Андреевич, Коршунов Владимир Витальевич,
Харинов Алексей Эдуардович

НИЯУ МИФИ

*e-mail: safonov14_A@mail.ru

Аннотация

Проект направлен на разработку автоматизированного аппарата подводной видеосъёмки, способного передавать видеопоток с заданной глубины на дистанционное устройство. В работе проанализированы существующие решения, составлена функциональная схема, разработаны конструкция корпуса и программная составляющая, а также определены ключевые электронные компоненты устройства.

Ключевые слова: подводная видеосъёмка, дистанционное управление, автономные устройства.

Аппарат подводной видеосъёмки (АПВ) предназначен для мониторинга и исследования подводного окружения. Конструкция АПВ включает надводный и подводный модули [1]. Надводный модуль изображен на рисунке 1 и представляет собой плавучую платформу с дистанционным управлением, обеспечивающую передачу видеосигнала и питание системы. Подводный модуль выполнен в виде герметичного бокса с камерой и датчиками глубины (конструкция разрабатывается).

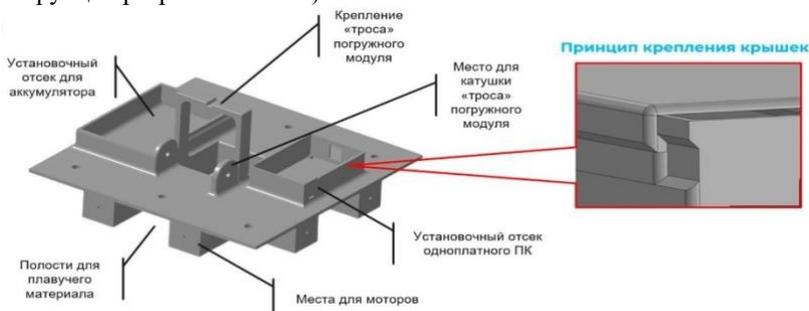


Рис. 1: Конструкция надводного модуля прототипа «Аппарат подводной видеосъёмки»

Основные технические характеристики аппарата:

- Управление: дистанционное через Wi-Fi или радиосигнал, с дальностью до 700 метров.
- Камера: поворотная, с разрешением до 720p (HD).
- Время автономной работы: до 3 часов.
- Глубина погружения: до 10 метров.

На текущем этапе работы проведен анализ существующих решений и разработана функциональная схема аппарата в соответствии с техническими требованиями к устройству. В таблице 1 приведен список используемых комплектующих.

Таблица 1: Комплектующие для прототипа «АПВ»

Наименование	Количество, шт.	Назначение
Raspberry Pi 4	1	Одноплатный компьютер для реализации управления
T130-03-06200	8	Моторы для гребных винтов
SG-90	3	Приводы поворота камеры и лебедки
Logitech 720p	1	Видеокамера для передачи сигнала из воды
XGZP040	1	Датчик давления для контроля глубины погружения

В результате работы создана модель корпуса и проведено тестирование ЭКБ. В дальнейшем планируется изготовление прототипа, сборка и тестирование устройства, а также разработка программного обеспечения для управления и обработки данных.

Список литературы

1. Moore S.W., Bohm H., Jensen V. *Underwater Robotics: Science, Design & Fabrication*. — Monterey: Marine Advanced Technology Education, 2009. — P. 587.
2. Upton E., Halfacree G. *Raspberry Pi User Guide*. — 2016. — 288 p.
3. Drachev V.P., Podolskiy V.A., Kildishev A.V. *Hyperbolic metamaterials: new physics behind a classical problem // Optics Express*. — 2019. — Vol. 21, № 12. — P. 15048-15064. — DOI: [10.1364/OE.21.015048](https://doi.org/10.1364/OE.21.015048).

Программная инженерия

Разработка графического окружения на основе клиент-серверной архитектуры

Баскаков Михаил Витальевич*, Панков Алексей Константинович,
Соколов Михаил Викторович, Симановский Марк Анатольевич

НИЯУ МИФИ

* e-mail: *mikbas31@gmail.com*

Аннотация

Целью данной работы является создание графической библиотеки, позволяющей создавать кроссплатформенные приложения с поддержкой удаленного доступа. Отличительной особенностью является обработка изображений на стороне клиента, что позволяет снизить нагрузку на серверную часть приложения.

Ключевые слова: C++, Boost, GLFW, OpenGL.

Со времен внедрения протокола X Window System [1] организация удаленного управления основывалась на полноценной обработке всего приложения на клиенте(-ах) и отправке результата единому серверу- экрану. С развитием широкополосного интернета пришли протоколы, такие как VNC [2], основанные на передаче видеопотока рабочего стола.

Передача бинарных команд для удаленного вызова процедур отрисовки зачастую оказывается более эффективной и стабильной, чем трансляция видеопотока окон графических пользовательских приложений. Также в связи с растущей производительностью персональных компьютеров даны предложения об ином подходе к архитектуре графических окружений в клиент-серверном взаимодействии, при котором приложение распределяется на сервер, выполняющий основные вычисления и вызывающий на клиентах процедуры отрисовки. На ее основе построен и протестирован программный пакет.

Сетевая часть программного пакета имеет два активных канала для связи: широковещательный и индивидуальный. Широковещательный канал позволяет множеству клиентов одновременно получать события распределяемого приложения, в том числе и необходимые для отрисовки окна приложения на стороне клиента. Индивидуальный канал рассчитан на получение сервером клиентских событий, таких как нажатие кнопок, ввод

текста, перемещение курсора. Такое разделение (рисунок 1) сетевых каналов позволяет повысить эффективность за счёт снижения количества более тяжелых активных двусторонних подключений с дублированием информации.

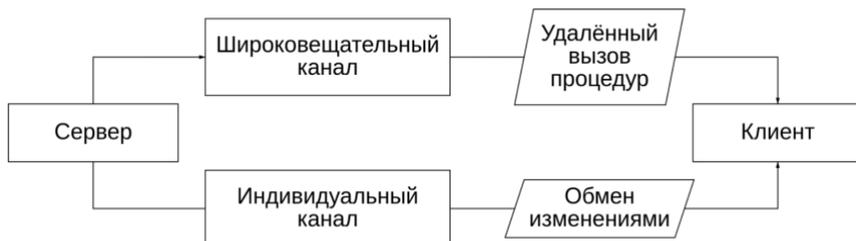


Рис. 1: Схема разделения каналов вещания сервера.

В программный пакет включена библиотека графического пользовательского интерфейса, предоставляющая разработчику интерфейс программирования приложений. Таким образом, всякое приложение, разработанное на ее базе, может быть распределено на несколько устройств, общающихся в событийно-ориентированной парадигме для удаленного вызова процедур.

Полученные результаты оправдали поставленные цели и могут стать основой как для дальнейших исследований, так и разработки программного обеспечения.

Список литературы

1. Gettys J., Packard K. *The (re)architecture of the X Window System // Proceedings of the 2004 Linux Symposium.* — 2004. — Vol. 1. — P. 227-237.
2. Liu Y., Anshus O.J. *Improving the performance of VNC for high-resolution display walls // 2009 International Symposium on Collaborative Technologies and Systems.* — Baltimore, MD, USA. — 2009. — P. 376-383. — DOI:[10.1109/CTS.2009.5067504](https://doi.org/10.1109/CTS.2009.5067504).

Системы управления коммерческими отношениями в Активном Энергетическом Комплексе

Титарь Игорь Андреевич*, Андреев Дмитрий Андреевич,
Ефименко Григорий Сергеевич, Гурьев Сергей Андреевич

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *tigor7750@gmail.com*

Аннотация

Изучение перспектив применения мультиагентной системы и службы доставки мощности в автономном энергетическом комплексе. Рассматривается использование АЭК для эффективного задействования локальных и альтернативных источников электроэнергии, сокращения логистических расходов, а также повышения надежности обеспечения электроэнергией за счет параллельного применения единой энергетической системы и АЭК.

Ключевые слова: АЭК, мультиагентная система, мощность, энергоснабжение.

Использование активных энергетических комплексов (АЭК) предлагает значительные преимущества в области управления энергоснабжением, особенно в удаленных и изолированных районах. Традиционные системы часто сталкиваются с проблемами надежности и эффективности, что делает необходимым поиск новых решений. Водородная энергетика и мультиагентные системы предоставляют перспективные подходы к решению этих проблем. АЭК позволяют эффективно использовать локальные и альтернативные источники электроэнергии, что способствует снижению логистических расходов и повышению устойчивости энергоснабжения. Параллельное применение единой энергетической системы и АЭК повышает надежность энергоснабжения, делая системы более устойчивыми к авариям и непредвиденным обстоятельствам.

Для реализации проекта использовались методы обобщения, анализа, Q-обучения и математического моделирования. В качестве инструментов разработки были выбраны следующие технологии:

- JavaScript-React (Frontend): Фреймворк React используется для создания интерактивных пользовательских интерфейсов. Он позволяет эффективно управлять состоянием приложения и обеспечивает высокую производительность.

- Java: Используется для реализации компонентов мультиагентной системы и взаимодействия с агентной платформой Jade.
- Python (Backend и нейронная сеть): Используется для реализации серверной части и нейронных сетей благодаря своей гибкости и обширным библиотекам. Flask был использован в качестве фреймворка для разработки серверной части.
- Jade: Фреймворк для создания многоагентных систем, предоставляющий средства для моделирования и реализации взаимодействия агентов.

АЭЖ включает в себя электрическую станцию и промышленных потребителей, объединенных в единую систему, однако объекты АЭЖ связаны между собой электрическими связями, не принадлежащими территориальной сетевой организации. Регулирование производства и потребления электроэнергии осуществляется с применением управляемого интеллектуального соединения (УИС).

МАС состоит из нескольких взаимодействующих интеллектуальных агентов. В нашем проекте использована платформа Jade и метод Q-learning, который основан на введении функции $Q(s)$ для оценки ценности каждого возможного действия агента. Обучение проводится итерационно, уточняя значение функции Q на каждом шаге.

Агенты продавца и покупателя имеют параметры: количество энергии, стоимость 1 кВт/ч, время контракта и его срок действия. Взаимодействие агентов проходит в три этапа: one-to-one, one-to-many и взаимодействие с Единой энергосистемой.

Все СМАРТ-контракты подписываются цифровой подписью с использованием алгоритма RSA и хранятся в блокчейн системе. Реализован алгоритм поведения агента, удовлетворяющий условию равновесия по Парето. Экономический анализ показал, что стоимость кВт/ч в АЭЖ ниже, чем в Единой энергосистеме, что свидетельствует о рентабельности проекта.

Список литературы

1. Бойко В.В., Лапкис А.А., Барский А.Б. *Логические нейронные сети: учебное пособие.* — М.: Бинوم, 2013.
2. Ширяев В.И. *Финансовые рынки: нейронные сети, хаос и нелинейная динамика.* — М.: КД Либроком, 2016.
3. Гриффитс Д., Гриффитс Д. *React. Сборник рецептов: практические приёмы работы с фреймворками.* — 2023.
4. Андреев В.В. [и др.] *Основы построения мультиагентных систем.* — Самара: Изд-во ПГУТИ, 2007.
5. Казанцев Т. *Искусственный интеллект и машинное обучение. Основы программирования на Python.* — М.: ЛитРес: Самиздат, 2020.

Создание трекера привычек

Гранкин Лев Владиславович, Кураев Никита Ильич,
Панов Александр Максимович, Степанов Андрей Геннадьевич

НИЯУ МИФИ

*e-mail: levgrank@gmail.com

Аннотация

Проект направлен на разработку цифрового трекера привычек, который помогает пользователям эффективно формировать новые привычки и отслеживать их прогресс. В web-приложении реализованы функции регистрации, добавления привычек и мониторинга настроения. На текущем этапе готов прототип с базовым функционалом, в дальнейшем планируется расширение возможностей, включая интеграцию с Telegram-ботом.

Ключевые слова: привычка, менеджмент, web.

Проект относится к области цифровых технологий, которые помогают повышать эффективность и управлять своим временем.

В условиях быстрого темпа жизни люди стремятся повысить свою продуктивность в различных сферах. Формирование привычек — один из лучших методов улучшения эффективности, но процесс требует времени и дисциплины. Трекеры привычек облегчают этот процесс, помогая напоминать о действиях и отслеживать прогресс. Однако существующие решения имеют недостатки, такие как сложный интерфейс, недостаточная мотивация и отсутствие командных функций.

Исследования подчеркивают, что трекеры привычек действительно способствуют эффективному формированию привычки [1, 4]. Также исследователи отмечают, что социальная поддержка играет значительную роль в формировании привычек [2]. Групповая динамика способствует повышению ответственности, мотивации и устойчивости к трудностям, что делает процесс формирования привычки более эффективным по сравнению с индивидуальным подходом. Этот факт активно используется в реализации конечного продукта.

Конечный продукт данной работы будет представлять из себя web-приложение. стек разработки: Dart, Python, Flutter, Aiogram, FastApi, Clion, Visual Studio Code, GitHub

Был произведен анализ существующих решений, на основе которого составлены требования к продукту. На данный момент разработан прототип с функциями регистрации, добавления привычек и мониторинга настроения, произведена отладка редактирования профиля и реализована возможность интеграции с API. Проведено начальное тестирование, устранены технические ошибки.

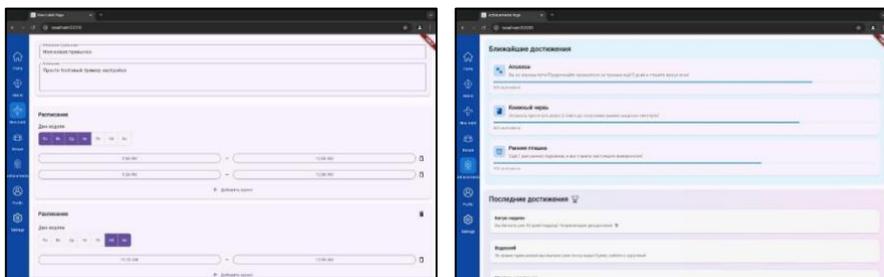


Рис. 1: Создание новой привычки и страница достижений.

В дальнейшем планируется добавление нового функционала (оповещения через telegram-бота, создание соревнований и возможность формирования привычек вместе с другими пользователями), повышение эффективности с помощью методов reinforced intentions [3], улучшение UI, UX.

Список литературы

1. Stawarz K., Cox A., Blandford A. *Habit formation and behaviour change with personal informatics tools* // *UCL Discovery*. — 2015.
2. Gardner B., Rebar A.L. *How does habit form? Guidelines for tracking habit development* // *Semantic Scholar*. — 2022. — Art.2041277— DOI:[10.1080/23311908.2022.2041277](https://doi.org/10.1080/23311908.2022.2041277)
3. Wicaksono R.S., Hendley R. *Using reinforced implementation intentions to foster habit formation* // *Semantic Scholar*. — 2019. — DOI:[10.1145/3290607.3312985](https://doi.org/10.1145/3290607.3312985)
4. Першина Е.П., Глачаева С.Е. // *Вестник Современной Академии управления и маркетинга*. — 2024. — С. 111-112.

Разработка системы конструирования и оптимизации вычислений

Кулаков Дмитрий Сергеевич*, Решетняк Алёна Александровна
НИЯУ МИФИ

*e-mail: dimakulakov731@gmail.com

Аннотация

В работе рассматривается задача оптимизации вычислений алгебраических выражений путем их декомпозиции и минимизации дорогостоящих операций в рамках аппликативного компьютеринга. Разработан прототип системы на языке F#, который позволяет эффективно обрабатывать выражения в коммутативных ассоциативных кольцах, что в дальнейшем послужит основой для создания системы, использующей λ -исчисление.

Ключевые слова: оптимизация вычислений, аппликативные вычислительные системы, алгебраические выражения.

В современном мире, где объемы данных стремительно растут, а вычислительные задачи становятся все более сложными, оптимизация вычислений приобретает особую актуальность. С одной стороны, существуют огромные массивы информации, требующие эффективной обработки. С другой, сложные вычисления могут быть распределены по множеству узлов, что требует их декомпозиции для оценки сложности каждой подзадачи. Уменьшение количества дорогостоящих операций и однократное вычисление повторяющихся блоков может существенно повысить производительность вычислительных систем и сократить время выполнения задач. Оптимизация вычислительных процессов имеет наибольшее значение при разработке высокопроизводительных вычислительных систем, компиляторов и специализированного программного обеспечения (например, систем автоматизированного проектирования и компьютерной алгебры).

Целью работы является разработка системы, позволяющей декомпонировать вычисления алгебраических выражений и минимизировать количество дорогостоящих операций в них. В данной работе рассматриваются алгебраические выражения, являющиеся элементами коммутативных ассоциативных колец.

В перспективе предполагается переход от алгебраических выражений к аппликативной модели вычислений. Аппликативный компьютеринг

предполагает комбинационное построение вычисления как относительно самостоятельного блока, пользуясь уже имеющимися блоками вычислений, причем все переменные в каждом блоке вычисления связаны, а сам он – замкнут. Это дает возможность искать преобразования более общего вида.

В результате данной работы был реализован прототип системы для работы с абстрактными алгебраическими выражениями на F#, на основе которого в дальнейшем планируется разработать систему для работы с выражениями в терминах λ -исчисления.

Список литературы

1. Вольфенгаген В.Э. Комбинаторная логика, или настойчивое приглашение к компьютеру // Предисловие к 3-му изданию книги «Комбинаторная логика в программировании». — 3-е изд., доп. и перераб. — М.: АО «Центр ЮрИнфоР», 2008. — X + 384 с.
2. Шумский Л.Д., Рословцев В.В. Аппликативные методы декомпозиции вычислительных процессов // Аппликативные вычислительные системы: труды 3-й международной конференции по аппликативным вычислительным системам (ABC 2012), 26-28 ноября 2012 г. — М.: Институт актуального образования «ЮрИнфоР-МГУ», 2012. — С. 224-233.
3. Вольфенгаген В.Э., Исмаилова Л.Ю., Косиков С.В. Структура компьютерного и конструирование вычисления // Наука и образование [Электронный ресурс]. — 2010. — № 8. — С. 1-21. — URL: <http://technomag.edu.ru/doc/153062.html> (дата обращения: 18.12.2024). — Рег. № Эл ФС 77-30569. — ISSN 1994-0408.
4. Вольфенгаген В.Э. Методы и средства вычислений с объектами. Аппликативные вычислительные системы. — М.: АО «Центр ЮрИнфоР», 2004. — XVI + 789 с.

Прикладная математика

Исследование влияния весового коэффициента в функции потерь PINN на точность решения

Соловьев Иван Денисович*, Карманов Валерий Вадимович,
Богданов Дмитрий Романович

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *solovev074@mail.ru*

Аннотация

В данной работе исследуется влияние весового коэффициента в функции потерь PINN на точность решения. Включены построение диаграммы решения уравнения и использование специализированной библиотеки для подбора оптимальных значений этого коэффициента.

Ключевые слова: PINN, уравнение Пуассона, условия Дирихле.

В данной задаче рассматривается решение дифференциальных уравнений в частных производных с помощью нейросетевой аппроксимации. Создается нейросеть, которая, после обучения, находит значение функции в заданной точке по ее координатам. Этот тип нейросетей называется «Physics-informed neural networks» (PINN).

Для исследования влияния весового коэффициента в функции потерь PINN на точность решения был выбран следующий вариант задания двумерного уравнения Пуассона с граничными условиями Дирихле:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = -2\pi^2 \sin(\pi x) \sin(\pi y), (x, y) \in \Omega \quad (1)$$

$$u(x, y) = \sin(\pi x) \sin(\pi y), (x, y) \in \partial\Omega \quad (2)$$

В результате исследования была получена зависимость между значениями весового коэффициента и итоговыми значениями аналитического отклонения искомой функции. При значениях весового коэффициента меньше одной десятой нейросеть не принимает во внимание влияние граничных условий из-за их небольшого вклада в итоговую ошибку, поэтому отклонение получается достаточно большим.

Быстрее всего нейросеть находит тривиальное решение в виде плоскости при значениях коэффициента больше десяти тысяч, но плохо реагирует на условия внутри области определения, и в итоге не сходится к правильному решению.

При значениях коэффициента в интервале от тысячи до десяти тысяч нейросеть может начать сходиться к правильному решению, но при этом делает это неоправданно долго, и не находит достаточно точных решений.

В конечном итоге больший интерес представляют точки в диапазоне от одной десятой до тысячи.

Было вычислено, что диапазон наиболее точных решений находится в районе четырехсот. Лучший показатель весового коэффициента равен 407.011. При таком значении параметра запуск программы дает график, предоставленный на рисунке 1а. Минимальное отклонение функции аппроксимации от аналитического решения подтверждается диаграммой поточечного абсолютного отклонения, предоставленной на рисунке 1б. Значение итогового отклонения от аналитического решения не превышает 0.01, что говорит о правильности построения нейросети, а также о корректности подбора весового коэффициента в функции потерь.

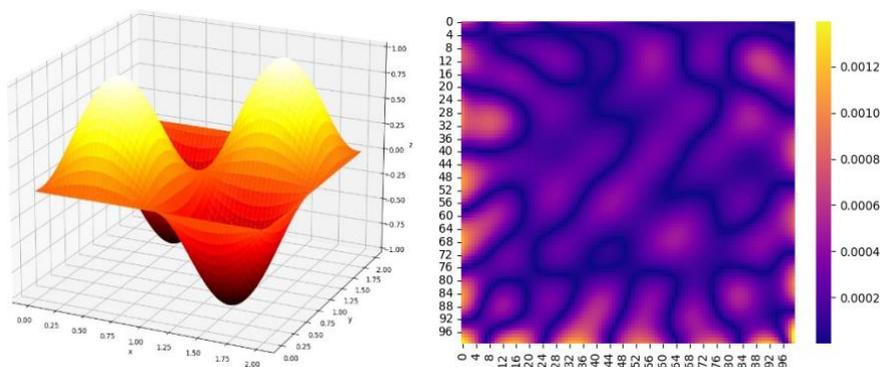


Рис. 1: а) График функции аппроксимации, б) Диаграмма отклонения функции аппроксимации от аналитического решения.

Список литературы

1. Lagaris I.E., Likas A., Fotiadis D.I. Artificial neural networks for solving ordinary and partial differential equations // IEEE Transactions on Neural Networks. — 1998. — Vol. 9, № 5. — P. 987-1000. — DOI: [10.1109/72.712178](https://doi.org/10.1109/72.712178).
2. Wegner J. Solution of the Poisson Equation with Neural Networks. — 2023. — 33 p.

Исследование цилиндрических функций Бесселя нулевого и первого порядка при построении решения на различных сетках обучения PINN

Будников Никита Евгеньевич*, Васильева Екатерина Васильевна,
Степанюченко Софья Павловна

НИЯУ МИФИ

*e-mail: budnikov_nikita@list.ru

Аннотация

Реализован метод PINN для построения решения дифференциального уравнения Бесселя нулевого и первого порядка, проведено исследование отклонения решения от точного аналитического на различных сетках обучения.

Ключевые слова: PINN, уравнения Бесселя, сетки обучения нейросети, функция потерь.

В ходе работы изучена архитектура нейронной сети и рассмотрены различные сетки для выбора точек обучения: равномерная сетка, случайная, квази-случайная и адаптивная. На каждой из сеток проведено исследование функции Бесселя и сравнение значения абсолютного отклонения от аналитического решения на разном количестве точек в разбиении.

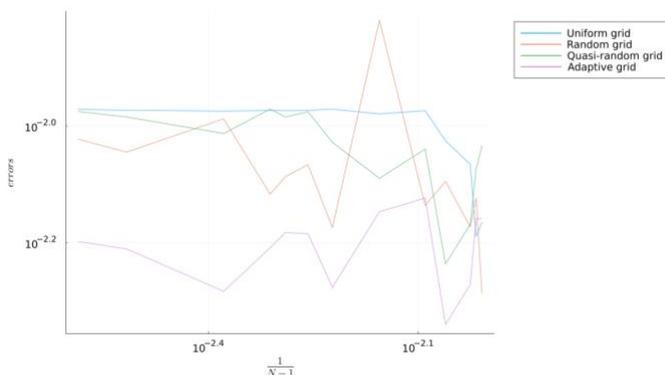


Рис. 1: Наибольшее абсолютное отклонение от аналитического решения для $J_0(x)$.

Для функции Бесселя нулевого порядка получен график, представленный на рисунке 1. Наилучшие результаты показало разбиение на адаптивной сетке,

что было ожидаемо с учётом специфики разбиения адаптивным алгоритмом.

Для функции Бесселя первого порядка данные значительно отличаются в сторону большего зашумления, рисунок 2. Адаптивная сетка вновь дала лучшие результаты, что было ожидаемо. Стоит отметить, что адаптивная сетка в целом является лучшим выбором для получения наиболее точного решения, если об уравнении известны дополнительные данные.

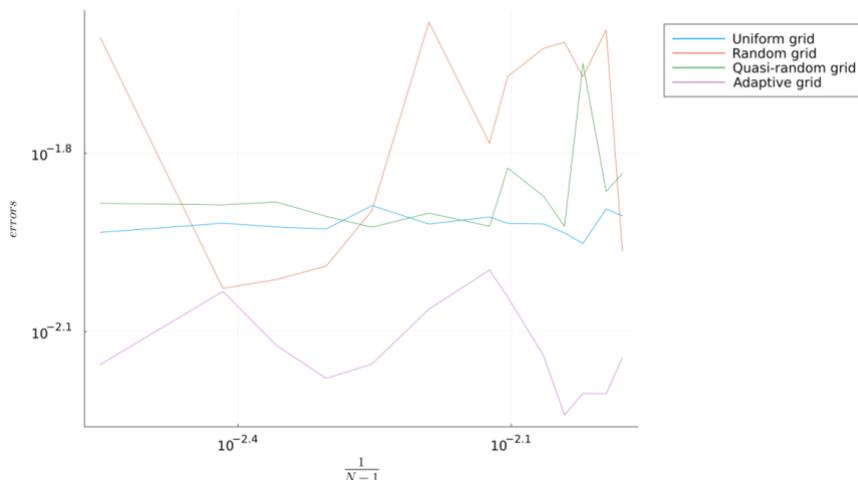


Рис. 2: Наибольшее абсолютное отклонение от аналитического решения для $J_1(x)$.

В дальнейшем необходимо исследовать точность решения равномерной сетки при количестве точек разбиения около 100, которое показало лучшие результаты по сравнению с другим количеством точек. Планируется провести аналогичное исследование для решений других дифференциальных уравнений, в том числе уравнений в частных производных.

Список литературы

1. Lagaris I.E., Likas A., Fotiadis D.I. Artificial neural networks for solving ordinary and partial differential equations // *IEEE Transactions on Neural Networks*. — 1998. — Vol. 9, № 5. — P. 987-1000. — DOI: [10.1109/72.712178](https://doi.org/10.1109/72.712178).
2. McClenny L.D., Braga-Neto U.M. Self-adaptive physics-informed neural networks // *Journal of Computational Physics*. — 2023. — Vol. 474. — Art. 11172. — DOI: [10.1016/j.jcp.2022.111722](https://doi.org/10.1016/j.jcp.2022.111722).
3. Перегудин С.И., Холодова С.Е. Специальные функции в задачах математической физики [Электронный ресурс]. — СПб.: НИУ ИТМО, 2012. — URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/999.pdf> (дата обращения: 16.12.2024).

Исследование влияния различных формулировок задачи Коши для уравнения гармонического осциллятора с вынуждающей силой на точность и эффективность метода физически-информированных нейронных сетей (PINN)

Донецков Андрей Дмитриевич*, Бакакин Валерий Дмитриевич,
Жулев Егор Михайлович

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *andrey.donetskov@gmail.com*

Аннотация

Целью работы является анализ влияния различных формулировок задачи Коши для уравнения гармонического осциллятора с вынуждающей силой на эффективность и точность решений. Проведённые эксперименты показали влияние постановки задачи на сходимость нейронной сети и вычислительные затраты.

Ключевые слова: гармонический осциллятор, PINN.

В работе рассматриваются три постановки задачи Коши: ОДУ второго порядка (1) и две системы ОДУ первого порядка (2) и (3).

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2x = -A \cos(\omega t), \quad x(0) = x_0, \quad \frac{dx}{dt}(0) = v_0. \quad (1)$$

$$\frac{dx}{dt} = y, \quad \frac{dy}{dt} = -\omega_0^2x - A \cos(\omega t), \quad x(0) = x_0, \quad y(0) = y_0. \quad (2)$$

$$\frac{dx}{dt} = \omega y - \frac{A}{\omega} \sin(\omega t), \quad \frac{dy}{dt} = -\omega x, \quad x(0) = x_0, \quad y(0) = \frac{v_0}{\omega}. \quad (3)$$

Физически-информированные нейронные сети (PINN) используются для аппроксимации решений [2]. Функция потерь минимизирует отклонения от исходных уравнений и начальных условий [1]. На основе вычислений был построен график функции потерь для трех постановок задачи (рисунок 1).

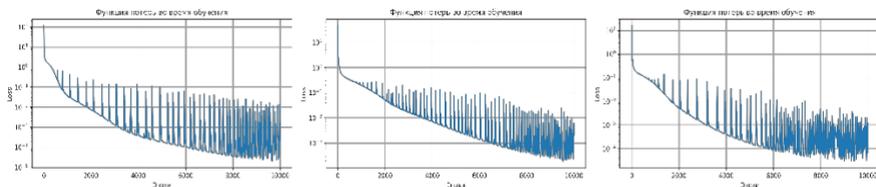


Рис. 1: Функция потерь для систем ОДУ первого порядка (3) (слева) и (2) (в центре), ОДУ второго порядка (1) (справа).

По результатам моделирования ОДУ второго порядка (1) показывает наибольшую скорость сходимости и высокую точность, но часто выходит из локальных минимумов, система ОДУ первого порядка (2) демонстрирует медленную скорость сходимости и меньшую точность, но стабильный процесс обучения, система ОДУ первого порядка (3) обеспечивает точность, сопоставимую с первым случаем, при меньших колебаниях функции потерь.

Таким образом, выбор формулировки задачи влияет на характер сходимости и вычислительные затраты, что требует дальнейшего изучения.

Список литературы

1. Lagaris I.E., Likas A., Fotiadis D.I. Artificial neural networks for solving ordinary and partial differential equations // *IEEE Transactions on Neural Networks*. — 1998. — Vol. 9, № 5. — P. 987-1000. — DOI:[10.1109/72.712178](https://doi.org/10.1109/72.712178).
2. 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. — P. 686-707. — DOI:[10.1016/j.jcp.2018.10.045](https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.10.045)

**Молекулярнодинамические расчеты сдвиговой
вязкости водного раствора хлорида натрия:
апробация модели и анализ ее вычислительной
сложности**

Копытов Иван Максимович*

Московский физико-технический институт (НИИ)

Объединенный институт высоких температур РАН

*e-mail: ivankopytov437@gmail.com

Аннотация

В данной работе реализованы вычислительные эксперименты методом классической молекулярной динамики для изучения сдвиговой вязкости водного раствора хлорида натрия в зависимости от моляльной концентрации ионов Na-Cl, температуры системы и зарядов погруженных ионов. В ходе расчетов было выявлено, что значение силовых параметров погруженных ионов может оказывать значительное влияние на параметры сдвиговой вязкости системы.

Ключевые слова: молекулярная динамика, суперкомпьютер Fisher (ОИВТ РАН), метод Грина-Кубо, метод Мюллера-Плате, LAMMPS, OVITO, tip4p-2005 модель воды.

Вязкость является одним из ключевых транспортных свойств жидкостей, определяющим их способность сопротивляться течению и взаимодействию молекул на микроскопическом уровне. Изучение влияния концентрации и зарядов ионов на вязкость водных растворов имеет важное значение как для фундаментальной науки, так и для практических приложений [1]. Точное понимание этого явления позволяет описать процессы ионной гидратации, структурной организации раствора и динамики его компонентов, что особенно актуально при моделировании многокомпонентных систем.

Исследование вязкости водных растворов NaCl проводилось методом молекулярной динамики с использованием LAMMPS и визуализацией в OVITO. В рамках исследования оценивалось влияние различных факторов, таких как моляльная концентрация (1–6 моль/кг), заряды ионов (± 0.75 , ± 0.80 , ± 0.85 , ± 0.92 , ± 1.00) и температура (273–375 К с шагом 15 К), на вязкость раствора.

Для моделирования использовалась система, состоящая из 4440 молекул воды (рисунок 1), описанных моделью TIP4P/2005, и ионов Na^+ и Cl^- в равном соотношении. Радиус отсечения взаимодействий был установлен на уровне 12

Å, а дальнедействующие силы учитывались с использованием метода PPPM/TIP4P.

Моделирование проводилось в ансамблях NVT и NPT с применением метода SHAKE для ограничения связей воды. Вязкость раствора определялась двумя методами: Мюллера-Плате и Грина-Кубо. Шаг моделирования составлял 1 фс, а термостат и баростат Носе-Гувера использовались для обеспечения релаксации системы.

Вычисления выполнялись на суперкомпьютере Fisher (ОИВТ РАН), который включает 24 узла, каждый из которых оснащен двумя 16-ядерными процессорами AMD EPYC 7301. Высокоскоростная сеть Infiniband FDR обеспечивала эффективный обмен данными между узлами.

Проведена оценка вычислительной сложности расчета на эффект масштабируемости по теореме Амдала для цифровых устройств, зависимости представлены на рисунке 2. Полученные результаты сопоставлены с проведенными исследованиями в статье [2].

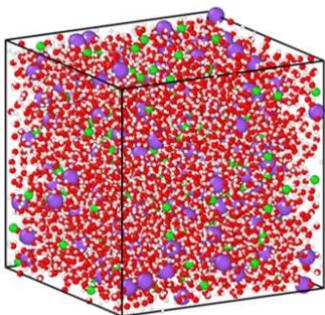


Рис. 1: Симуляция 4440 молекул TIP4P/2005, концентрация 2 моль/кг пар NaCl.

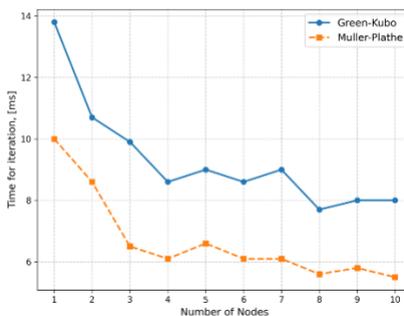


Рис. 2: Время на одну итерацию в методах Грина-Кубо и Мюллера-Плате.

Список литературы

1. Skrdla P.J. Estimating the maximal solubility advantage of drug salts // *International Journal of Pharmaceutics*. — 2021. — Vol. 595. — Art. 120228. — DOI: [10.1016/j.ijpharm.2021.120228](https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.120228).
2. Blazquez S., Conde M.M., Vega C. Scaled charges for ions: An improvement but not the final word for modeling electrolytes in water // *The Journal of Chemical Physics*. — 2023. — Vol. 158, № 5. — Art.054505. — DOI: [10.1063/5.0136498](https://doi.org/10.1063/5.0136498).

Решение задачи Коши для уравнения Дуффинга с использованием PINN

Соколов Пётр Витальевич*, Нгуен Ву Ань Туан,
Шамшуринов Игорь Дмитриевич*

НИЯУ МИФИ

*e-mail: sokolovpv@inbox.ru

Аннотация

В данной работе используется сравнительно старый метод, позволяющий решать дифференциальные уравнения [1]. Метод включает в себя использование нейросети PINN (Physics Informed Neural Networks), которая учитывает невязки в уравнениях и на основе этого обучается аппроксимировать заданные процессы и системы. Также данный метод, аналогично численным, позволяет получить приближенное решение уравнений, для которых нет аналитического решения, но с более эффективной скоростью вычислений. Более того, наличие авто дифференцирования позволяет аналитически вычислять частные производные в любых необходимых точках.

Ключевые слова: PINN, нейросеть, аппроксимация, отклонение.

В данной работе рассматривается задача Коши для уравнения Дуффинга с заданными начальными условиями, где исследуется влияние параметров на поведение системы:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \delta \frac{dx}{dt} + \alpha x + \beta x^3 = \gamma \cos(\omega t) \quad (1)$$

$$\begin{cases} x(0) = x_0, \\ \frac{dx}{dt}(0) = v_0. \end{cases} \quad (2)$$

Данное уравнение не имеет точного аналитического решения, поэтому для исследования точности результаты вычислений будут сравниваться с численным решением, полученным методом Рунге-Кутты 4 порядка.

Было проведено исследование поведения системы и точности её аппроксимации нейросетью от входящих в уравнение параметров. Для сравнения приближений PINN и численного метода было взято максимальное отклонение (ошибка) результатов нейросети от аппроксимации методом Рунге-Кутты.

При работе было обнаружено, что при некоторых построениях решение нейросети плохо сходится к численному методу в связи с хаотической природой уравнения, поэтому были определены значения соответствующих параметров, при которых система находится в относительно устойчивом состоянии: $\gamma \geq 1$, $\delta \gg 1$ или $\delta \ll 1$.

№ эксперимента	γ	δ	α	β	ω	loss	error
1	1	6.6	7	5	1.25e	0,000393305	0,001155197
2	1	6.6	2	1.2	1.25e	3,11E-05	0,000465514
3	10	0.01	7	5	1.25e	10,06312847	3,686801868
4	1	6.6	1	1	1.25e	1,41E-05	0,000119119
5	10	5.2	5	7	1.25e	0,014090166	0,012780697
6	1	0.02	1	1	1.25e	3,87E-05	0,011136363
7	0	0.02	1	1	1.25e	5,33E-05	0,019596054
8	0	1.2	1	1	1.25e	3,82E-07	0,000912955
9	10	1.2	1	1	1.25e	0,000260653	0,015354497
10	10	0.002	1	1	1.25e	0,036252763	4,02359008
11	1	6.2	0.001	0.0001	1.25e	7,28E-05	0,000412634
12	0.02	6.2	0.001	0.001	1.25e	1,94E-06	7,05E-05
13	7	6.2	0.001	0.0001	1.25e	0,000427102	0,004628416
14	0.002	1.2	0.001	0.0001	1.25e	6,67E-07	8,03E-05
15	1	1.2	0.001	0.0001	1.25e	7,52E-06	0,001500384
16	1	1	0.0001	0.001	1.25e	2,25E-06	0,000189143
17	5	1.2	0.0001	0.001	1.25e	5,78E-05	0,001320775
18	1	0.2	0.0001	0.001	1.25e	1,97E-05	0,004411309
19	7	0.2	0.0001	0.001	1.25e	0,000149615	0,010594746
20	0.2	0.2	0.0001	0.001	1.25e	1,34E-06	0,000468854
21	0.04	0.02	0.0001	0.001	1.25e	6,18E-07	0,00132239
22	0.001	0.02	0.0001	0.001	1.25e	4,29E-07	0,000252271

Рис. 1: Значения невязки и абсолютного отклонения от численного метода.

В результате исследования была создана нейросеть, способная аппроксимировать численное решение задачи Коши для уравнения Дуффинга. Было исследовано влияние коэффициентов уравнения на точность нейросети, и было получено, что в случаях, приближенных к хаосу, нейросеть плохо строит приближение решения, отклонение в среднем не падает ниже порядка 10^0 .

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. — P. 686-707—. DOI:[10.1016/j.jcp.2018.10.045](https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.10.045)
3. Lagaris I.E., Likas A., Fotiadis D.I. Artificial neural networks for solving ordinary and partial differential equations // *IEEE Transactions on Neural Networks*. — 1998. — Vol. 9, № 5. — P. 987-1000. — DOI:[10.1109/72.712178](https://doi.org/10.1109/72.712178).
2. Канатников А.Н., Крищенко А.П. Качественные свойства системы Дуффинга с полиномиальной нелинейностью // *Труды Математического института им. В.А. Стеклова*. — 2020. — Т. 308. — С. 197-209.
3. Lazovskaya T.V. [et al.] Polynomial Neural Network Approximation of Duffing Equation Solution // *International Conference Cyber-Physical Systems and Control*. — Cham: Springer, 2021. — P. 554-562.

4. Lu K. [et al.] *Solving Oscillator ODEs via Soft-constrained Physics-informed Neural Network with Small Data* // *arXiv preprint arXiv:2408.11077*. — 2024.

Асимптотики обобщенного уравнения Бюргерса-Хаксли методами степенной геометрии

Комаров Никита Михайлович*, Бородина Агния Геннадьевна

НИЯУ МИФИ

*e-mail: nmkomarov1@mephi.ru

Аннотация

Изучаются аналитические свойства обобщенного уравнения Бюргерса-Хаксли с учетом четвертой производной. На основе методов степенной геометрии находятся локальные асимптотические разложения решений исследуемого уравнения.

Ключевые слова: уравнение Бюргерса-Хаксли, степенная геометрия, степенные разложения

Наиболее известным уравнением в частных производных, учитывающим взаимодействие эффектов конвекции, диффузионного переноса и действия нелинейного источника, является уравнение Бюргерса-Хаксли [1]. В работе рассматривается обобщенное уравнение Бюргерса-Хаксли с учетом производной четвертого порядка для описания более общих дальнедействующих эффектов диффузии

$$u_t + \mu u u_x + \mu u_{xxxx} = D u_{xx} + \alpha u + \beta u^2 - \gamma u^3, \quad (1)$$

где $u(x, t)$ - действительная функция, $\mu, D, \alpha, \beta, \gamma$ - параметры уравнения (1).

Перейдем от уравнения (1) к нелинейному обыкновенному дифференциальному уравнению с помощью переменной бегущей волны $u(x, t) = y(z = x - C_0 t)$, где C_0 - произвольная постоянная

$$\mu y y_z + \mu y_{zzzz} - D y_{zz} - \alpha y - \beta y^2 + \gamma y^3 - C_0 y_z = 0. \quad (2)$$

На основе методов степенной геометрии можно исследовать асимптотики решений и локальные асимптотические разложения решений [2]. Поскольку в уравнении (2) две координаты, для его исследования в работе используются методы двумерной степенной геометрии. Мономам уравнения (2) соответствуют точки $Q_0 = (-1, 2), Q_1 = (-4, 1), Q_2 = (-2, 1), Q_3 = (0, 1), Q_4 = (0, 2), Q_5 = (0, 3), Q_6 = (-1, 1)$.

Носитель уравнения (2), нормальные конусы $U_j^{(1)}$ для сторон и нормальные

конусы $U_j^{(0)}$ для вершин $G_1^{(0)} = Q_5, G_2^{(0)} = Q_3, G_3^{(0)} = Q_1$ представлены на рисунке 1.

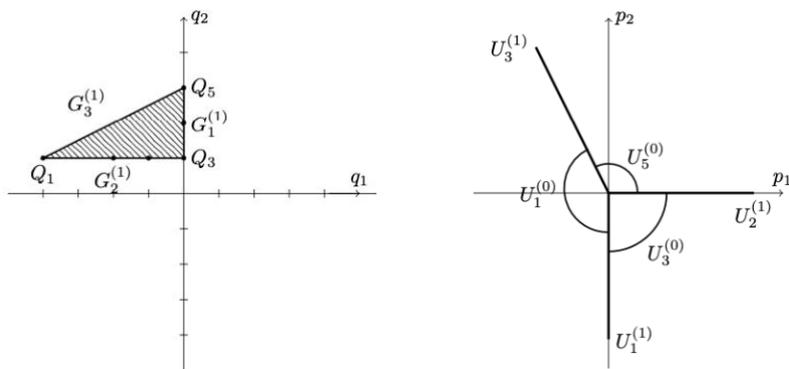


Рис. 1: Носитель и нормальные конусы для уравнения (2).

Для вершины Q_1 существует четыре степенных разложения, отвечающие четырем семействам укороченных решений. Другие вершины не имеют нетривиальных степенных или нестепенных решений. Приведем одно из возможных разложений с вычисленными до z^5 членами

$$y(z) = c_0 + c_1 z + c_2 z^2 + c_3 z^3 + \frac{\alpha c_0 + \beta c_0^2 - \gamma c_0^3 + c_1 C_0 + 2c_2 d - c_1 c_0 \kappa}{24\mu} z^4 + \frac{\alpha c_1 + 2\beta c_1 c_0 - 3\gamma c_1 c_0^2 + 2c_2 C_0 + 6c_3 d - 2c_2 c_0 \kappa - c_1^2 \kappa}{120\mu} z^5 + \dots \quad (3)$$

Список литературы

1. Zhang X., Tian Y., Zhang M., Qi Y. *Mathematical studies on generalized Burgers Huxley equation and its singularly perturbed form: Existence of traveling wave solutions // Nonlinear Dynamics.* — 2025. — Vol. 113. — № 3. — P. 2625-2634.

2. Брюно А. Д. Асимптотики и разложения решений обыкновенного дифференциального уравнения // *Успехи математических наук.* — 2004. — Т. 59, № 3(357). — С. 31–80. — DOI:[10.4213/rm736](https://doi.org/10.4213/rm736)

Экономика и бизнес-информатика

Проектирование информационной системы для построения маршрутов ледоколов в Арктике

Улимаева Алина Рустамовна*

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *ulimaeva.ar@yandex.ru*

Аннотация

В представленной работе проводится проектирование интеллектуальной системы прогнозирования маршрутов ледоколов в Арктике для повышения безопасности и эффективности судоходства при помощи методов анализа данных для точного прогнозирования внешних факторов и оптимальных путей. Автоматизация планирования маршрутов снизит нагрузку на экипаж, уменьшит расход топлива и риск происхождения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: концептуальная модель, логистика, машинное обучение (ML), прогнозирование факторов.

Объектом данного исследования являются информационно-коммуникационные технологии в бизнесе. Предметом исследования является процесс проектирования, разработки и интеграции алгоритмов интеллектуального построения маршрутов для ледоколов в логистические процессы с использованием методов машинного обучения (ML).

Северный морской путь (СМП) – магистраль, являющаяся кратчайшим путём, связывающим Европейскую часть и динамично развивающийся Азиатско-Тихоокеанский регион, являющийся будущим мировой морской логистики и торговли [1].

О важности развития этого маршрута свидетельствует заявление мин. транспорта России, Старовойта Р.В., на представлении задач федерального проекта: «Объём перевозок в акватории СМП к 2030 году должен вырасти почти в 4,1 раз по сравнению с 2024 годом и достигнуть 150 млн тонн в год» (рис. 1) [2].

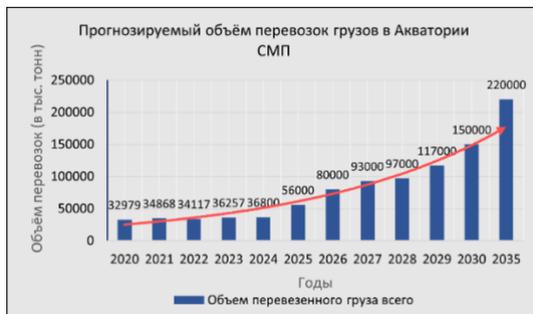


Рис. 1: Прогнозируемый объем перевозок грузов в СМП.

Без надёжной ледокольной поддержки даже самые эффективные логистические схемы останутся нереализуемыми, так как риски, связанные с метеорологической и ледовой обстановкой, сделают транспортировку грузов по СМП нерентабельной и опасной. Ледоколы не просто сопровождают суда, а являются фундаментом, на котором строится вся система эффективной арктической логистики.

Планирование проводки судов по Северному морскому пути представляет собой сложный многофакторный процесс, объединяющий передовые технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли, моделирование ледовой обстановки, а также глубокий экспертный анализ и учет человеческого фактора.

Новые методы в логистике, основанные на анализе больших данных из различных источников (спутниковые снимки, метеорологические данные, информация о судне) и ML, обеспечат более точный прогноз, учитывающий динамику обстановки и внутренних факторов, что повысит безопасность и эффективность судоходства, позволяя оперативно реагировать на изменения и оптимизировать маршруты.

Список литературы

1. Гудев П.А. Северный морской путь (СМП): экономический потенциал, правовой статус, перспективы развития: тезисы доклада к заседанию Ученого совета ИМЭМО РАН, 30 января 2019 г. [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.imemo.ru/files/File/ru/events/2019/30012019/30012019-TEZ-G-001.pdf> (дата обращения: 17.12.2024). — 149 с.
2. PortNews: сайт: информационно-аналитическое агентство [Электронный ресурс]. — URL: <https://portnews.ru/news/363792/> (дата обращения: 16.12.2024).