

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Ф.М. ДОСТОЕВСКОГО

# **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Сборник материалов  
XII Международной научной конференции

(Омск, 14 марта 2025 г.)

© Оформление. ФГАОУ ВО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского», 2025

**ISBN 978-5-7779-2728-6**

Омск  
Издательство  
Омского государственного  
университета им. Ф.М. Достоевского  
2025

УДК 004+519  
ББК 22.18я43+32.973я43  
М340

*Рецензенты:*

канд. физ.-мат. наук, доцент *А.А. Романова*,  
канд. физ.-мат. наук, доцент *Н.Ф. Богаченко*

Ответственный за выпуск

канд. физ.-мат. наук, доцент *И.П. Бесценный*

**М340 Математическое и компьютерное моделирование** : сборник материалов XII Международной научной конференции (Омск, 14 марта 2025 г.) / [отв. за вып. И. П. Бесценный]. – Омск : Издательство Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского, 2025. – 1 CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

**ISBN 978-5-7779-2728-6**

В настоящий сборник включены тезисы докладов, присланные на XII Международную научную конференцию «Математическое и компьютерное моделирование». Она состоялась на факультете цифровых технологий и кибербезопасности ОмГУ им. Ф.М. Достоевского 14 марта 2025 г.

Для магистрантов, аспирантов и научных работников.

**УДК 004+519**

**ББК 22.18я43+32.973я43**

*Текстовое электронное издание*

*Самостоятельное электронное издание*

Минимальные системные требования:

процессор с частотой 1,3 ГГц и выше; ОЗУ 512 Мб;  
Microsoft Windows XP/Vista/7/8/10 и выше; Adobe Acrobat Reader 8.0 и выше;  
CD-ROM; мышь

ISBN 978-5-7779-2728-6

© Оформление. ФГАОУ ВО «ОмГУ  
им. Ф.М. Достоевского», 2025

*Издается в авторской редакции  
в соответствии с макетом,  
предоставленным оргкомитетом.*

Дата выпуска: 13.03.2025.  
1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.  
Тираж 8 копий. Объем 5,6 Мб.

Издательство  
Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского  
644077, г. Омск, пр. Мира, 55а  
тел.: 8 (3812) 22-25-71, 22-25-61, 64-13-07

## Содержание

---

### Секция «Алгебра и дискретная математика»

<i>Гутор А.Г.</i> Существование многочлена $n$ -ой степени для $n$ различных элементов произвольного ассоциативного кольца с единицей .....	13
<i>Гутор А.Г., Тихонов С.В.</i> Алгоритм нахождения корней многочленов с коэффициентами в алгебре гамильтоновых кватернионов по известному разложению на линейные множители... ..	15
<i>Степанов В.А., Ратнаяке Мудиянселаге В.Г.Р.</i> Исследование автоматизации подсчета эритроцитов в камере Горяева с использованием компьютерного зрения .....	19
<i>Велько О.А., Мартон М.В.</i> Бинарные отношения как инструмент моделирования социальных отношений и процессов .....	21
<i>Столяренко А.Ю., Мехович А.П.</i> Использование системы компьютерной алгебры GAP для определения дистрибутивности решёток подгрупп .....	25
<i>Старовойтов А.К., Подоксёнов М.Н.</i> Свойства экспоненциального отображения алгебры Ли $SL(2, R)$ .....	27
<i>Ильев А.В.</i> Об оценке сложности кластеризации графа в задачах Cluster Deletion и Cluster Editing с ограничениями на размеры кластеров .....	31
<i>Леванова Т.В., Кошечая А.Е.</i> Многостадийные модели размещения вышек радиосвязи .....	34

### Секция «Математические модели и методы»

<i>Гамзаев Х.М., Гусейнзаде С.О., Керимова С.Р.</i> Определение температурного поля в нефтяном пласте при тепловом воздействии .....	36
<i>Байрамова Н.Х.</i> Идентификация размера частицы в процессе осаждения в гравитационном сепараторе.....	39
<i>Бородич С.М., Кавитова Т.В.</i> О бифуркации Андронова – Хопфа в одной системе обыкновенных дифференциальных уравнений .....	42
<i>Гутор А.Г., Соколовский Г.Г., Сташуклёнок С.П.</i> Существование обобщённого математического ожидания для некоторых распределений и их статистические модели .....	44

<i>Никитин А.И.</i> Отсутствие глобальных решений начально-краевых задач для систем полулинейных параболических уравнений с поглощением и нелинейными нелокальными граничными условиями .....	47
<i>Маркова Л.В., Журавский Н.А., Коробко Е.В.</i> Влияние концентрации магнитореологической жидкости на ее реологические свойства .....	49
<i>Маркова Л.В., Коробко Е.В., Харламова И.М.</i> Нелинейная двухфакторная модель течения электрореологической жидкости.....	52
<i>Мартон М.В.</i> Высшая математика и основы информатики в подготовке курсантов-международников.....	54
<i>Михайлова Н.В.</i> Использование компьютерных ресурсов для математического познания в цифровой коммуникативно-образовательной среде .....	57
<i>Ву Х.З., Жарков М.Л., Казаков А.Л.</i> О моделировании работы универсального морского порта с помощью сетей массового обслуживания.....	61
<i>Мороз Л.И., Масловская А.Г.</i> Эволюция детерминированных моделей сегнетоэлектрического гистерезиса: систематизация и подходы к реализации .....	64
<i>Ерёмин А.М.</i> К вопросу о численной минимизации функционала свободной энергии многослойной стохастической системы.....	67
<i>Бухаров Д.Н., Пахомов Д.А., Голяков Н.Ю., Федорино Д.А.</i> Моделирование областей графитизации в CVD-алмазе .....	70
<i>Гринь И.В., Морозов О.А.</i> Использование ограниченных спутниковых группировок для решения задачи местоопределения источника радиоизлучения .....	73
<i>Антоновская О.Г.</i> Построение математической модели синтезатора частоты с импульсным частотно-фазовым детектором и идеальным астатическим фильтром.....	77
<i>Волокитин Е.П., Глубоких А.В., Голубятников В.П.</i> Устойчивость нелокальных осцилляций в обобщённых пороговых моделях генных сетей .....	79
<i>Рабинович Е.В., Туркин А.С.</i> Локационный алгоритм построения сейсмического изображения границ пластов геологической среды ....	85
<i>Гуц А.К.</i> Моделирование кулоновского взаимодействия и ньютоновской гравитации посредством запутанности .....	88
<i>Гуц А.К.</i> Потоки Риччи как метод моделирования работы варп-двигателя Алькубьерре .....	91
<i>Володченков Ц.Л., Гуц А.К.</i> Теоретико-катастрофическая модель $X_{1,0}$ антропогенного воздействия на почву в Калининградской области.....	94

<i>Панкратов И.А.</i> О применении метода дифференциальной эволюции к расчёту наискорейших перелётов космического аппарата .....	97
<i>Сайфулин М.Ж.</i> Моделирование последовательностей ввода проб при корреляционной обработке хроматографических данных .....	100
<i>Лазарев Н.П.</i> Задача о контакте упругой пластины Тимошенко, содержащей отслоившееся тонкое жесткое включение .....	103
<i>Николаева Н.А.</i> О сопряжении тонких включений Тимошенко в упругих телах .....	105
<i>Зинченко Ю.В.</i> Компьютерное геометрическое моделирование неосциллирующих обводов технических поверхностей .....	106
<i>Серёгина Я.А.</i> Расчёт режимов работы гидравлических сетей: сравнение метода контурных расходов с методом итераций с инерцией .....	109
<i>Шевелева Т.А.</i> Геометрическое и компьютерное моделирование границ рабочего пространства двух и трехзвенных планарных манипуляторов .....	112
<i>Моисеева С.А., Полякова Т.А.</i> Применение современных цифровых технологий для анализа промышленных данных .....	115
<i>Гетте А.В., Борисовский П.А.</i> Моделирование и оптимизация размещения виртуальных машин с вероятностным ограничением ...	118
<i>Захарова Ю.В.</i> Свойства решений в задачах составления расписаний с ресурсозависимыми длительностями работ .....	120
<i>Захарова Ю.В., Заозерская Л.А.</i> Математические эвристики для обобщений задачи о назначениях .....	122
<i>Захарова Ю.В., Сахно М.Ю.</i> Конструктивные алгоритмы для задач составления расписаний с ресурсными ограничениями ....	124
<i>Макаров С.Е., Макарова И.Д.</i> Реализация на Python методов решения жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений .....	126
<i>Зубов Д.А., Николаев В.Б.</i> Задача на уравнение Навье – Стокса с условием Коши .....	129
<i>Ушакова Е.В.</i> Теоретико-игровая модель равновесия с рекламными рассылками на двустороннем рынке .....	131

### **Секция «Компьютерные технологии»**

<i>Барашков М.М., Витько Е.А.</i> Разработка информационной системы для автоматизации выдачи актов экспертизы .....	133
<i>Волкова Е.Д., Козлова Н.В.</i> Использование концепции MVC для разработки веб-приложений интернет-магазинов на платформе ASP.NET .....	136

<i>Волкова Е.Д., Стук А.В.</i> Разработка консольного приложения для демонстрации работы паттернов Dependency Injection .....	139
<i>Горчаниук С.Д., Жук Т.Д.</i> Разработка облачного хранилища данных с пользовательским веб-интерфейсом .....	142
<i>Именной А.В., Новый В.В.</i> Поисково-информационная система взаимодействия лекарственных препаратов .....	144
<i>Отгонбаатар С.Г., Новый В.В.</i> Мониторинг и классификация сообщений социальной сети «Телеграмм».....	146
<i>Шпакова Ю.А., Подоксенов М.Н.</i> Разработка программы на Python для вычисления тензора кривизны.....	148
<i>Велько О.А., Мартон М.В.</i> Аспекты преподавания информационных технологий и математики для студентов-географов.....	151
<i>Травничева П.В., Каторжевский А.В.</i> Алгоритмы кластеризации в блокчейн .....	155
<i>Травничева П.В., Козлова Т.В.</i> Обзор современных веб-технологий для автоматизации процессов продаж в автомобильной индустрии .....	158
<i>Ермоченко С.А.</i> Распределённые вычисления в реализации иерархических методов кластеризации .....	161
<i>Кузнецова П.Д.</i> Применение средств компьютерного моделирования в целях воссоздания утраченных исторических объектов.....	164
<i>Астапенко Н.В., Наскенов А.Б., Вишняков Д.В.</i> Разработка и внедрение интерактивного онлайн-курса «Основы искусственного интеллекта» в современной цифровой образовательной среде.....	166
<i>Астапенко Н.В., Савинков В.А.</i> Проектирование путеводителя по Северо-Казахстанскому университету имени М. Козыбаева .....	170
<i>Астапенко Н.В., Степанов И.К., Леонтьев Е.С.</i> Проектирование мобильного приложения с функцией дополненной реальности для мебельной индустрии .....	174
<i>Задоркин С.М., Борсук Н.А.</i> Использование техники виртуального скролла для оптимизации пользовательских интерфейсов .....	177
<i>Филатов С.А., Мушкамбарян Д.Т., Борсук Н.А.</i> Анализ проблем при решении задачи составления расписания.....	180
<i>Дементьев В.Д., Борсук Н.А.</i> Особенности разработки пользовательского ресурса программы-систематизатора хронологических событий .....	182
<i>Сарваль П.А., Борсук Н.А.</i> Вопросы разработки веб-приложения для планирования и анализа задач .....	185

<i>Яковенко Я.В., Борсук Н.А.</i> Индекс согласованности обобщения для линейных моделей с учётом адаптивной корректировки ошибок.....	188
<i>Пекишев Д.В.</i> Авторская разработка системы управления базами данных.....	191
<i>Никитин О.В., Овчинников П.Е.</i> Модель системы синхронизации времени.....	193
<i>Панкратов И.А., Лисюткин М.Ю.</i> Разработка информационной системы для автоматизации выполнения лабораторных работ.....	195
<i>Панкратов И.А., Муравьёва О.П.</i> Автоматизация генерации отчётов о научных публикациях.....	198
<i>Кобзева А.О., Кобзева А.О., Драч В.Е.</i> Разработка веб-сайта спортивной школы.....	201
<i>Харсева В.А., Драч В.Е.</i> Выбор стека технологий для разработки конструктора ароматических свечей.....	203
<i>Драч В.Е., Чукаев К.Е.</i> Интеллектуальный ассистент для преобразования голосовых сообщений в текст.....	205
<i>Кольева Н.С., Панов А.А.</i> Концепция разработки программно-аппаратного комплекса «Инспекция маркировки».....	208
<i>Кольева Н.С., Шемакин В.В.</i> Примеры использования блокчейн-технологии.....	211
<i>Панова М.В., Маликов М.О.</i> Партионный учет товарно-материальных ценностей с использованием адресного хранения (ячеистого склада) для конфигурации «1С: Управление торговлей».....	213
<i>Шуай И., Масловская А.Г.</i> Паттерны бактериальных колоний при вариации режимов питания: приложение модели Аллена – Кана.....	216
<i>Саруханян С.К.</i> Анализ применимости решеток клеточных автоматов к задачам диффузии в трехмерном пространстве.....	220
<i>Семочкина Е.В.</i> Что может сделать посетителя веб-сайта постоянным.....	224
<i>Семочкина Е.В.</i> Применение структурного моделирования для планирования проведения рекламных и PR-акций.....	227
<i>Семочкина Е.В.</i> Модель данных штатной расстановки небольшой рекламно-издательской компании.....	230
<i>Давлетбаев И.С.</i> Использование игровых технологий для моделирования производственных ситуаций.....	233
<i>Латыпов Д.Р.</i> Разработка системы автоматизированной генерации отчетов из баз данных о методическом обеспечении дисциплин.....	235

<i>Запанов Р.О.</i> Проверки переполнения для языков с поддержкой виртуальной многопоточности в управляемой среде.....	237
<i>Ахмедов В.З.</i> Разработка кэширующего расширения для PostgreSQL.....	239
<i>Галкин К.С.</i> Подъемник для кресел-каталог: разработка виртуального лабораторного стенда для практикума по процесс-ориентированному программированию.....	241
<i>Евдокимова Д.Е.</i> К вопросу о выборе программной платформы для цифрового двойника ЦКП «СКИФ» .....	243
<i>Юрисова М.А.</i> Создание библиотечных элементов интерфейса оператора для облачного практикума по языку роST .....	246
<i>Ищенко А.Д.</i> Реализация семантики логических выражений в генераторе условий корректности языка Reflex.....	248
<i>Королев В.С.</i> Виртуальный лабораторный стенд: шлюз .....	251
<i>Лебедев А.А.</i> Разработка веб-технологии виртуализации ПЛК средствами Java-машины для исполнения роST-программ.....	253
<i>Махов Н.А.</i> Разработка правил проверки противоречивости набора EDTL требований.....	256
<i>Набиева М.А.</i> Методы распределенного управления многокритериальными технологическими процессами с отсутствием масштабной инвариантности .....	258
<i>Пермяшкин Д.А.</i> Методы обеспечения отказоустойчивости процесс-ориентированных программ .....	261
<i>Сипатров Р.А.</i> Исследование подходов к разработке облачного лабораторного практикума по процесс-ориентированному программированию.....	263
<i>Столяров А.В.</i> Виртуальный лабораторный стенд: лифт для кошек.....	265
<i>Черненко И.М.</i> Язык шаблонов темпоральных требований для дедуктивной верификации процесс-ориентированных программ.....	267
<i>Шабанова М.А.</i> Разработка правил перевода языка Reflex на язык Event-B для создания транслятора .....	270
<i>Фёдоров Д.Б., Куприянов В.П.</i> Применение компьютерных технологий проектирования для трехмерного моделирования и инженерного анализа поршня .....	272

### **Секция «Искусственный интеллект»**

<i>Волкова Е.Д., Гаврученко И.А.</i> Анализ и подготовка трехмерных данных для использования в нейронных сетях.....	274
<i>Козлова Е.В., Новый В.В.</i> Обнаружение печатных символов на цифровых изображениях методами глубокого обучения.....	277

<i>Новый В.В.</i> Использование методов искусственного интеллекта для оптимизации использования вычислительной техники учебных лабораторий.....	280
<i>Травничева П.В., Козлова А.А.</i> Разработка программного обеспечения, предназначенного для определения принадлежности фрагментов голосовой информации .....	283
<i>Корчевская Е.А., Богатырёва М.Р., Залесский И.А.</i> Диагностика сердечно-сосудистых заболеваний с помощью методов глубокого обучения .....	286
<i>Щетина П.Д.</i> Возможности разработки интеллектуальной системы для классификации текстов по тематикам .....	288
<i>Ильцевич В.Н., Чижма С.Н.</i> Прогнозирование значения удельной электропроводности фильтра установки электродеионизации с помощью рекуррентных нейронных сетей.....	291
<i>Жалдак Н.Н.</i> Логика для взаимодействия человека и искусственного интеллекта .....	294
<i>Решетаров П.А.</i> Описание графовой нейронной сети для музыкальной рекомендательной системы .....	297
<i>Мушкамбарян Д.Т., Филатов С.А., Борсук Н.А.</i> Подбор книг по настроению с помощью искусственного интеллекта: актуальность, проблемы и перспективы.....	300
<i>Дагаев А.Е., Попов Д.И.</i> Методы интеллектуальной генерации тестовых материалов.....	303
<i>Суворов И.С., Драч В.Е.</i> Оптимизация моделей искусственного интеллекта при помощи рядов Тейлора .....	306
<i>Никитенкова С.П.</i> Обнаружение мошенничества в финансовых транзакциях методами машинного обучения.....	309
<i>Гарифуллин Т.И., Гарифуллина Н.А.</i> Answerthis! .....	311
<i>Гарифуллин Т.И., Гарифуллина Н.А.</i> Кот. Краткие отзывы о товарах .....	314
<i>Полежаев В.Д., Полежаева Л.Н.</i> Риски, вызовы и проблемы в изучении математики, связанные с развитием искусственного интеллекта .....	317
<i>Анжин И.А., Будников К.И.</i> Исследование методов машинного обучения для определения половозрастных характеристик человека по изображению .....	322
<i>Борисов Д.А., Будников К.И.</i> Применение глубокого обучения для анализа сетевого трафика и выявления его аномалий .....	326
<i>Жуйко С.Е., Будников К.И.</i> Исследование методов машинного обучения для определения экономических показателей.....	329

<i>Кузнецова А.Ю., Будников К.И.</i> Применение нейросетей для распознавания этнических характеристик человека.....	332
<i>Легоньков А.С., Будников К.И.</i> Разработка нейросетевой модели для анализа информации из электронных медицинских документов .....	335
<i>Помогаев М.П., Будников К.И.</i> Применение машинного обучения для диагностики заболеваний органов грудной клетки на основе анализа рентгеновских снимков .....	338
<i>Помогаев П.П., Будников К.И.</i> Применение нейросетей для анализа растений, пораженных вирусом зеленой пятнистой мозаики .....	341
<i>Потапова А.С., Будников К.И.</i> Применение машинного обучения для исследования системы моторного контроля мигрантов в северный регион .....	344
<i>Кузнецов Е.В.</i> Разработка облачного портала для комплекса инструментальных средств процесс-ориентированного программирования.....	347
<i>Филимонов В.А.</i> Концепция интерфейса для гибридного субъекта .....	350

### **Секция «Информационная безопасность»**

<i>Алискеров М.Р., Попов С.В.</i> Компетентностная модель ИБ-специалиста.....	353
<i>Гавришев А.А.</i> Применение SDR-приемников в учебной деятельности по дисциплинам, связанным с технической защитой информации.....	357
<i>Данилова О.Ю., Телкова С.А.</i> Модифицированные алгоритмы сети Фейстеля в современных криптоалгоритмах .....	360
<i>Забусова П.А., Драч В.Е.</i> Средства организации информационной безопасности для предотвращения рисков в банковской деятельности .....	363
<i>Мионов О.А.</i> Model Checking как основа формальной верификации систем.....	366
<i>Эпов И.Д.</i> Создание системы идентификации в облачном IDE языка Reflex для целей организации коллективной разработки .....	368
<i>Желомко С.А., Магазев А.А., Максютенко П.А.</i> Использование машинного обучения для прогнозирования сценариев атак сарес, основанных на данных о уязвимостях .....	370
<i>Магазев А.А., Никифорова А.Ю.</i> Влияние начальных условий на предельный режим эпидемии компьютерных вирусов в рамках BSS-модели .....	373

<i>Арушанян Д.М.</i> Внедрение администрирующих полномочий в рамках ролевой модели разграничения доступа .....	377
<i>Вахний Т.В., Вахний С.В.</i> Моделирование стратегического взаимодействия в кибербезопасности с использованием рефлексивной биматричной игры .....	379

**Секция**  
**«Алгебра и дискретная математика»**

---

УДК 512.552

*А.Г. Гутор*

*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*  
SPIN-код: 4938-9438

**СУЩЕСТВОВАНИЕ МНОГОЧЛЕНА N-ОЙ СТЕПЕНИ  
ДЛЯ N РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ПРОИЗВОЛЬНОГО АССОЦИАТИВНОГО КОЛЬЦА  
С ЕДИНИЦЕЙ**

Представлен результат, полученный в [1].

Пусть  $R$  – ассоциативное кольцо с единицей. Будем рассматривать многочлены вида

$$P(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0, a_k \in R, \quad (1)$$

где переменная  $x$  коммутирует с коэффициентами  $a_k$ . Кольцо таких многочленов будем обозначать  $R[x]$ . Сложение многочленов из  $R[x]$  определяется привычным образом, умножение по правилу

$$(a_n x^n + \dots + a_0)(b_m x^m + \dots + b_0) = (c_{m+n} x^{m+n} + \dots + c_0),$$

где  $c_k = \sum_{i+j=k} a_i b_j$  – степень многочлена вида (1) также определяется привычным образом и равна  $n$ , если  $a_n \neq 0$ .

Для  $a \in R$  определим  $P(a)$  как элемент

$$a_n a^n + a_{n-1} a^{n-1} + \dots + a_1 a + a_0.$$

Назовём  $a \in R$  (правым) корнем  $P(x)$ , если  $P(a) = 0$ . Известно, что  $a \in R$  является корнем ненулевого многочлена  $P(x)$  тогда и только тогда, когда  $x - a$  является правым делителем  $P(x)$

в  $R[x]$  [2, Prop. 16.2], т. е.  $P(x) = F(x)(x - a)$  для некоторого многочлена  $F(x)$  из  $R[x]$ .

Пусть заданы различные  $x_1, \dots, x_n \in R$ . Положим  $Q_1(x) = x - x_1$ . Далее для  $i \in \{1, \dots, n - 1\}$  в случае, когда  $Q_i(x_{i+1})$  – обратимый элемент в  $R$ , рекурсивно определим

$$Q_{i+1}(x) = (x - Q_i(x_{i+1})x_{i+1}(Q_i(x_{i+1}))^{-1})Q_i(x).$$

В обозначениях выше получаем следующую теорему.

**Теорема 1 [1].** *В случае обратимости элементов  $Q_i(x_{i+1})$  для любого  $i \in \{1, \dots, n - 1\}$  в кольце  $R$ , для любых различных элементов  $x_1, \dots, x_n \in R$  найдётся многочлен в  $R[x]$  степени  $n$  такой, что  $x_1, \dots, x_n$  будут его корнями.*

**Замечание.** *Если в условиях теоремы 1  $Q_i(x_{i+1}) = 0$  для некоторого  $i$ , то можно взять  $Q_{i+1}(x) = Q_i(x)$ . Если нужен многочлен степени  $i + 1$ , то можно взять, например,  $Q_{i+1}(x) = xQ_i(x)$ . Таким образом, и в этом случае также найдётся многочлен из  $R[x]$  степени меньшей либо равной  $n$ , корнями которого будут различные  $x_1, \dots, x_n \in R$ .*

**Теорема 2.** *Пусть  $D$  – ассоциативное кольцо с делением. Тогда для любых различных элементов  $x_1, \dots, x_n \in D$  существует такой многочлен  $F(x)$  степени  $n$ , что  $F(x_i) = 0$  для любого  $i = 1, \dots, n$ .*

## Литература

1. Goutor A.G. Existence of polynomials with given roots over non-commutative rings, Preprint. <https://arxiv.org/abs/2501.02897>.
2. Lam T.Y. A first course in noncommutative rings. Graduate Texts in Mathematics. New York: Springer-Verlag, 1991.

*А.Г. Гутор<sup>1</sup>, С.В. Тихонов<sup>2</sup>*

*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

<sup>1</sup>SPIN-код: 4938-9438, <sup>2</sup>SPIN-код: 2955-4364

## АЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ КОРНЕЙ МНОГОЧЛЕНОВ С КОЭФФИЦИЕНТАМИ В АЛГЕБРЕ ГАМИЛЬТОНОВЫХ КВАТЕРНИОНОВ ПО ИЗВЕСТНОМУ РАЗЛОЖЕНИЮ НА ЛИНЕЙНЫЕ МНОЖИТЕЛИ

Данные рассуждения служат продолжением [1].

Рассмотрим многочлен  $P(x) = (x - x_n) \dots (x - x_2)(x - x_1)$  с коэффициентами в алгебре гамильтоновых кватернионов с известной цепочкой  $(x_1, \dots, x_n)$ , где среди элементов  $x_k$  присутствуют представители как из одного, так и из разных классов сопряжённости. Опишем порядок нахождения корней многочлена в этом случае. Очевидно, что  $x_1$  является корнем [2, с. 262]. Чтобы проверить, будет ли данный корень сферическим (все элементы из класса сопряжённости являются корнями) или изолированным (единственный элемент из своего класса сопряжённости является корнем), возьмём элемент  $a \in [x_1]$ ,  $a \neq x_1$  и вычислим  $P(a)$  (заметим, что прежде чем подставлять  $a$  в  $P(x)$ , нужно раскрыть скобки в  $P(x)$  [2, с. 263]). Если  $P(a) = 0$ , то корень  $x_1$  сферический, т. е. все элементы  $[x_1]$  являются корнями, в противном случае корень  $x_1$  изолированный. Далее воспользуемся теоремой [3, с. 5]:

**Теорема.** Рассмотрим цепочку  $(x_1, \dots, x_{l-1}, x_l, \dots, x_n)$  многочлена  $P$ . Если  $h := \bar{x}_1 - x_{l-1} \neq 0$ , то  $(x_1, \dots, h^{-1}x_l h, h^{-1}x_{l-1} h, \dots, x_n)$  также будет цепочкой данного многочлена.

Данная теорема позволяет другие скобки-сомножители  $P(x)$  делать крайними правыми (известно, что крайний правый

множитель  $x - a$  даёт корень  $a$ ). С каждым найденным так корнем поступаем, как с  $x_1$ .

Заметим, что при  $h = 0$ , согласно теореме, скобки-сомножители переставлять нельзя. Но в этом случае множитель  $(x - x_l)(x - x_{l-1}) = (x - x_l)(x - \bar{x}_l) = x^2 + (-\bar{x}_l - x_l)x + x_l\bar{x}_l$  имеет коэффициенты в центре алгебры гамильтоновых кватернионов [4, с. 29]. А значит, этот множитель перестановочен с другими, и его можно поставить, например, крайним правым. Также заметим, что в этом случае  $x_{l-1} = \bar{x}_l$ , т. е.  $x_{l-1}$  и  $x_l$  из одного класса сопряжённости, а значит достаточно иметь в качестве крайнего левого множителя хотя бы одну из скобок.

*Итак, приведены общие рассуждения для нахождения всех корней  $P(x)$  с коэффициентами в алгебре гамильтоновых кватернионов в случае, когда присутствуют представители как из одного, так и из разных классов сопряжённости в цепочке  $P(x)$ . Остальные возможные случаи рассмотрены в [1].*

**Пример.** Найдём корни многочлена

$$P(x) = (x - i - j)(x - 1 - k)(x - 2j)(x - 2i).$$

$x_1 = 2i$  и  $x_2 = 2j$  находятся в одном классе сопряжённости, тогда как  $x_3 = 1 + k$  и  $x_4 = i + j$  в разных классах, причём, не в классе  $[x_1]$ .  $x_1 = 2i$  – корень многочлена  $P(x)$ . Раскрывая скобки, найдём:

$$P(x) = x^4 + (-1 - 3i - 3j - ij)x^3 + (4ji + 4j - 4 + 2i)x^2 + (4i - 4j)x + 4j.$$

Находим, что  $P(2j) \neq 0$ , а значит,  $x_1 = 2i$  – изолированный корень  $P(x)$ .

Пронумеруем множители  $P(x)$  справа налево (1), (2), (3), (4). Поменяем местами (2) и (3), воспользовавшись теоремой:  $x_{l-1} = 2j$ ,  $x_l = 1 + k$ ,  $h = 1 - k - 2j$ . Тогда

$$h^{-1}x_{l-1}h = -\frac{4}{\sqrt{6}}i + \frac{8}{\sqrt{6}}j + \frac{8}{\sqrt{6}}k, \quad h^{-1}x_lh = \sqrt{6} + \frac{4}{\sqrt{6}}i + \frac{4}{\sqrt{6}}j - \frac{2}{\sqrt{6}}k.$$

Тогда многочлен примет вид:

$$P(x) = (x - i - j) \left( x + \frac{4}{\sqrt{6}}i - \frac{8}{\sqrt{6}}j - \frac{8}{\sqrt{6}}k \right) \times \\ \times \left( x - \sqrt{6} - \frac{4}{\sqrt{6}}i - \frac{4}{\sqrt{6}}j + \frac{2}{\sqrt{6}}k \right) (x - 2i).$$

Теперь множители идут справа налево в порядке: (1), (3), (2), (4). Меняем местами (1) и (3):

$$x_{l-1} = 2i, \quad x_l = \sqrt{6} + \frac{4}{\sqrt{6}}i + \frac{4}{\sqrt{6}}j - \frac{2}{\sqrt{6}}k, \\ h = \sqrt{6} + \left( -\frac{4}{\sqrt{6}} - 2 \right) i - \frac{4}{\sqrt{6}}j + \frac{2}{\sqrt{6}}k.$$

После подсчётов в пакете Wolfram Mathematica получаем вид:

$$P(x) = (x - i - j) \left( x + \frac{4}{\sqrt{6}}i - \frac{8}{\sqrt{6}}j - \frac{8}{\sqrt{6}}k \right) \times \\ \left( x - \frac{\sqrt{6} + 1}{\sqrt{6}}i - \frac{11\sqrt{6} - 6}{30}j - \frac{\sqrt{6} - 21}{15}k \right) \times \\ \times \left( x - \sqrt{6} - \left( 1 + \sqrt{\frac{3}{2}} \right) i - \frac{2 + 3\sqrt{6}}{10}j - \frac{7 - 2\sqrt{6}}{5}k \right).$$

Таким образом, находим ещё один корень  $y_3 = \sqrt{6} + \left( 1 + \sqrt{\frac{3}{2}} \right) i + \frac{2 + 3\sqrt{6}}{10}j + \frac{7 - 2\sqrt{6}}{5}k$ .

Предлагаем интересующимся проверить вид корня  $y_3$ , а также найти корень из последнего класса сопряжённости. Для этого нужно крайний левый множитель (4) в предыдущем виде многочлена  $P(x)$  переместить вправо с помощью теоремы. А также предлагаем определить вид последнего корня.

## Литература

1. Гутор А.Г., Тихонов С.В. О корнях многочленов с коэффициентами в алгебре гамильтоновых кватернионов // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов XI Международной научной конференции, посвящённой памяти В.А Романькова (Омск,

- 15 марта 2024 г.) / [отв. за вып. И.П. Бесценный]. Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2024. С. 20–23.
2. *Lam T.Y.* A first course in noncommutative rings. Graduate Texts in Mathematics. New York: Springer-Verlag, 1991.
  3. *Falcao M.I., Miranda F., Severino R., Soares, M.J.* Mathematica Tools for Quaternionic Polynomials // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10405. P. 394–408.
  4. *Пирс Р.* Ассоциативные алгебры. М.: Мир, 1986.

*В.А. Степанов, В.Г.Р. Ратнаяке Мудиянселлаге*

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДСЧЕТА ЭРИТРОЦИТОВ В КАМЕРЕ ГОРЯЕВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ**

Актуальной задачей в медицинской диагностике является автоматизация процессов анализа биологических образцов. Одной из таких задач является подсчет эритроцитов в камере Горяева. Традиционный ручной метод подсчета является трудоемким и подвержен субъективным ошибкам, что делает его менее эффективным в условиях высокой загруженности лабораторий. В данной работе исследуется возможность применения методов компьютерного зрения для автоматизации процесса подсчета эритроцитов, что позволит повысить точность, скорость и воспроизводимость результатов.

Целью настоящей работы является исследование возможности автоматизации подсчета эритроцитов в камере Горяева с использованием методов компьютерного зрения.

В качестве исходных данных используются изображения, полученные с помощью микроскопа.

Для решения задачи применяются методы компьютерного зрения, такие как предварительная обработка изображений, сегментация, классификация и подсчет объектов.

Разработка системы автоматизации включает несколько ключевых этапов:

- Анализ задачи и сбор данных.
- Предварительная обработка изображений (фильтрация, бинаризация, коррекция освещения).
- Сегментация и выделение эритроцитов.
- Подсчет эритроцитов с использованием алгоритмов компьютерного зрения.
- Тестирование и валидация системы.

В настоящее время изучаются новые подходы и технологии, такие как глубокое обучение, облачные вычисления и улучшенные методы обработки изображений, которые могут быть применены для дальнейшего развития системы. Эти исследования направлены на повышение точности, скорости и надежности системы, а также на расширение ее функциональных возможностей, включая анализ морфологии эритроцитов и интеграцию с другими лабораторными системами.

Таким образом, методы компьютерного зрения можно успешно применять для автоматизации и улучшения процесса подсчета эритроцитов в камере Горяева.

### **Литература**

1. *Кишкун Л.А., Беганская Л.А.* Клиническая лабораторная диагностика: учебник: в 2 т. Т. 1. 2-е изд. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021. 800 с.
2. *Форсайт Д., Понс Ж.* Компьютерное зрение. Современный подход: пер. с англ. М.: Вильямс, 2004. 926 с.

**О.А. Велько<sup>1</sup>, М.В. Мартон<sup>2</sup>**

*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

<sup>1</sup>SPIN-код: 9921-7557, <sup>2</sup>SPIN-код: 3622-1157

## **БИНАРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ И ПРОЦЕССОВ**

Заметим, что в последние годы связь социологии и математики становится все более тесной и многоплановой. Потребности развития, как теории социальной коммуникации, так и ее экспериментальных и прикладных направлений требуют использования математических методов для описания и анализа тех явлений, которые она изучает, наблюдается стремление выражать законы социальной сферы в математической форме.

Социология, преследующая цель научной точности выводов, закономерно включает в свою исследовательскую практику математические методы, но их использование плодотворно лишь в той мере, в какой они отражают содержание социальных связей. Это обстоятельство делает актуальным изучение взаимодействия в структуре моделирования социологических и математических методов исследования.

Применение методов математического моделирования в социологических исследованиях и различных процессах природы и общества; а также изучение методов построения и анализа математических моделей с применением различных принципов идеализации, развивают коммуникативные компетентности и творческую самореализацию. В связи с этим одним из аспектов профессиональной подготовки студентов социально-гуманитарных специальностей является формирование знаний и умений по использованию метода математического моделирования. Типовая и учебная программы по дисциплине «Основы высшей математики и теории вероятностей» для специальности Социология [1; 2] содержат раздел «Основы математического моделирования

в социологии», включающий в себя тему «Моделирование социальных процессов с помощью бинарных отношений».

В социальных науках бинарные отношения используются в науках о человеке и обществе, таких как культурология, социология, социопсихология, этнология, генеалогия и другие, например, системы родства, важные в традиционных обществах. Бинарные отношения являются инструментом моделирования социальных отношений и процессов. Каждый раз, исследуя окружающий мир, природные и общественные явления и объекты, мы рассматриваем различные свойства, которые относятся к этим явлениям и объектам, а также устанавливают связь между ними (например, «быть старше», «быть дороже», «быть родственниками», «состоять в одной партии», «иметь одинаковый пол» и т. д.).

Для задания бинарного отношения достаточно задать или знать список пар элементов, находящихся в данном отношении. На практике же социолог работает с качественным определением отношения, и никто ему готового списка не даст. Это множество, формально определяющее бинарное отношение, надо ещё построить. Для решения этой задачи необходимо сначала записать его на языке математики. Для формализации социальных отношений, где элементами являются отдельные индивиды, надо иметь ещё некоторую дополнительную информацию или анкету об этих индивидах, которую можно записать в виде кортежа  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

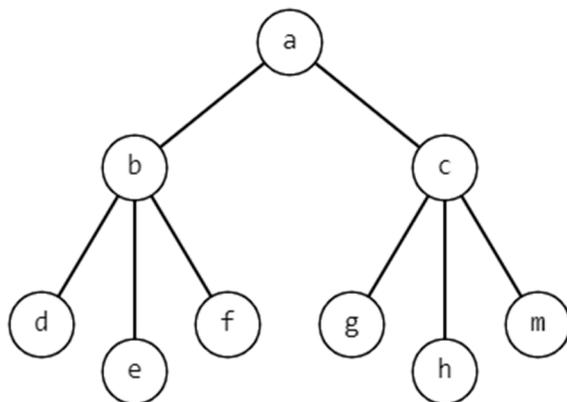
Выявление свойств отношений, выполняющихся для любых множеств, позволяет классифицировать эти отношения и выделять целые классы отношений, обладающих общими свойствами. Такие классы образуют классы эквивалентности. Если в качестве множества  $A$  возьмём множество респондентов, заполнивших анкету с закрытыми вопросами, то одинаковые ответы на некоторые из вопросов определяют эквивалентность. Отношениями эквивалентности могут быть следующие отношения: «состоять в одной партии», «иметь одинаковый пол» и т. п.

Бинарные отношения могут задаваться разными способами: при помощи формул; списком пар; при помощи матриц (таблиц); при помощи графов и т.д.

Пример 1. Рассмотрим множество населенных пунктов  $\{A, B, C, D, E\}$ . Если из одного пункта есть дорога, по которой

можно доехать до другого пункта, то между этими населенными пунктами можно установить бинарные отношения [3]. Данное бинарное отношение называют отношением достижимости, причем, если есть дорога из пункта А в пункт В, то есть дорога и из В в А.

Пример 2. Рассмотрим группу людей, состоящую из девяти человек, среди которых два руководителя секторов, один – руководитель отдела, в который входят эти секторы. И в каждом секторе работает по три человека, не считая руководителей. Построим бинарные отношения – «быть начальником». Тогда данные отношения можно описать при помощи графа (рис.):



В качестве домашнего задания студентам можно предложить следующее:

1. Проанализируйте: являются ли бинарными следующие отношения: «жить в одном городе», «быть старше»?

2. Приведите от трёх до пяти примеров бинарных отношений, с которыми вы встречались в повседневной жизни и природе. Каждый пример должен отражать определенную сферу вашей жизни: семья, друзья, учёба, природа и т. д.

3. Между членами семьи существуют отношения родства, которые можно выразить словами: «быть мужем», «быть братом» и т. д. Множество  $M$  – множество членов вашей семьи. Укажите всевозможные отношения на множестве  $M$ .

4. Бинарные отношения могут задаваться формулой. Формула  $x + y = \text{любовь}$ , задает бинарное отношение на множестве

людей. Этому отношению принадлежит любая пара людей, между которыми существует любовь. Придумайте свою формулу, задающую бинарное отношение.

5. В какой еще форме, на ваш взгляд, можно представить бинарное отношение? Какая форма представления бинарных отношений вам понравилась больше и почему?

В настоящее время анализ экономических, социальных, политических явлений и процессов, прогнозирование тенденций их развития невозможно представить без использования математических моделей. А бинарные отношения являются наглядным инструментом моделирования социальных отношений и процессов. Многообразие социолого-математических моделей, различия между ними, степень их изученности, а также широкий спектр задач, решаемых с помощью моделирования, прямым образом указывают на актуальность данных моделей в современном обществе.

### **Литература**

1. *Велько О.А.* Основы высшей математики: электронный учебно-методический комплекс для специальности 1-23 01 05 «Социология». Минск: БГУ, 2020. 257 с.
2. *Моисеева Н.А.* Основы высшей математики и теории вероятностей: электронный учебно-методический комплекс для специальности: 1-23 01 15 «Социальные коммуникации». Минск: БГУ, 2021. 239 с.
3. *Велько О.А.* Эвристическое занятие «Графы как инструмент моделирования процессов природы и общества» // Матэматыка. 2020. № 6. С. 12–20.

**А.Ю. Столяренко, А.П. Мехович<sup>1</sup>**

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

<sup>1</sup>SPIN-код: 6330-9110

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ АЛГЕБРЫ GAP ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСТРИБУТИВНОСТИ РЕШЁТОК ПОДГРУПП**

GAP – это система вычислительной алгебры, специализирующаяся на дискретной алгебре с сильным акцентом на теорию групп. Система предлагает собственный язык программирования, включающий обширную библиотеку функций для реализации алгебраических алгоритмов, а также базу данных алгебраических объектов. GAP широко используется в исследованиях при изучении теории групп, теории представлений, колец, векторных пространств, алгебры, комбинаторных структур [1].

Реализация алгоритма определения дистрибутивности решёток подгрупп на языке GAP является актуальной задачей, поскольку представляет собой вычислительный подход к определению дистрибутивности решёток подгрупп с использованием системы компьютерной алгебры GAP.

Цель работы – описать алгоритм определения дистрибутивности решёток подгрупп на языке GAP.

Используется терминология и методы исследования конечных групп и их решёток, а также вычислительные методы системы компьютерной алгебры GAP.

Напомним, что *решёткой* называется частично упорядоченное множество  $L$ , в котором любые два элемента имеют точную нижнюю грань, или «пересечение», обозначаемое  $x \wedge y$ , и точную верхнюю грань, или «объединение», обозначаемое  $x \vee y$ . Решётка называется *дистрибутивной*, если в ней выполняются тождества:

$$x \wedge (y \vee z) = (x \wedge y) \vee (x \wedge z),$$

$$x \vee (y \wedge z) = (x \vee y) \wedge (x \vee z) [2, \text{с. 44}].$$

Работа алгоритма заключается в нахождении всех троек подгрупп в решётке и проверке для них дистрибутивных тождеств. Для получения точного результата проверяемая решётка подгрупп должна быть конечна.

Реализация алгоритма предоставляет собой комбинацию использования встроенных функций: `ConjugacyClassesSubgroups`, `Representative`, `Intersection`, `ClosureGroup`, `List` и вложенных циклов, с помощью которых производится определение дистрибутивности решётки подгрупп.

Корректность алгоритма определения дистрибутивности решёток подгрупп была проверена на некоторых решётках из [2; 3]. Известно, что решётки  $M_3$  (диамант) и  $N_5$  (пентагон) не являются дистрибутивными. Также решётка подгрупп  $S_3$  не является дистрибутивной так как содержит подрешётку изоморфную пентагону. В свою очередь решётки  $C_6$ ,  $C_2 \times C_2$  являются дистрибутивными. Описанный в работе алгоритм, подтвердил свойства вышеуказанных решёток подгрупп на предмет их дистрибутивности.

Результатом работы является алгоритм, определяющий дистрибутивность решёток подгрупп в системе компьютерной алгебры GAP.

### Литература

1. GAP Group, GAP – Groups, Algorithms, and Programming. URL: <http://www.gap-system.org> (дата обращения: 02.02.2025).
2. Гретцер Г. Общая теория решёток. М.: Мир, 1982. 456 с.
3. Gratzner G. Lattice theory: First concepts and distributive lattices / George Gratzner – Dover ed. Courier Corporation, 2009. 212 p.

**А.К. Старовойтов, М.Н. Подоксёнов<sup>1</sup>**

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

<sup>1</sup>SPIN-код: 5120-2532

## **СВОЙСТВА ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ АЛГЕБРЫ ЛИ $SL(2, \mathbf{R})$**

В работе [1] была построено однородное многообразие четырехмерной группы Ли  $A^+(1) \times A^+(1)$ , снабженной левоинвариантной лоренцевой метрикой, обладающее максимальной группой изометрий. Мы поставили задачу: попытаться построить однородное многообразие трехмерной группы Ли  $SL(2, \mathbf{R})$ , для которого группа изометрий также будет иметь максимальную размерность.

Принцип построения изометрий группы Ли  $SL(2, \mathbf{R})$  следующий: мы находим лоренцево скалярное произведение в алгебре Ли  $SL(2, \mathbf{R})$ , при котором группа автоизометрий этой алгебры Ли имеет максимальную размерность. Пусть  $F: SL(2, \mathbf{R}) \rightarrow SL(2, \mathbf{R})$  – одна из автоизометрий, а

$$\exp: SL(2, \mathbf{R}) \rightarrow SL(2, \mathbf{R}) \quad (1)$$

есть экспоненциальное отображение. Тогда преобразование  $F$  определяет изометрию  $f$  группы Ли  $SL(2, \mathbf{R})$  по правилу:

$$f = \exp \circ F \circ \exp^{-1}.$$

Этот принцип работает не только в случае, когда экспоненциальное отображение является гомеоморфизмом. Например, в работе [2] он применялся для построения группы подобий неодносвязного многообразия группы Ли  $SE(2) \times \mathbf{R}^+$ .

В данной работе мы получим формулы экспоненциального отображения (1) и исследуем его свойства.

Алгебра Ли  $SL(2, \mathbf{R})$  состоит из матриц, след которых равен 0. Запишем такую матрицу в виде

$$U = \begin{pmatrix} u_1 u_2 \\ u_3 u_1 \end{pmatrix},$$

и припишем ей координаты  $(u_1, u_2, u_3)$ . Будем искать матрицу  $X = \exp U$  посредством перехода к комплексным рядам. Если обозначить  $w = u_1^2 + u_2 u_3 = -\det U$ , и ввести подстановку  $w = z^2$  ( $z \in \mathbf{C}$ ), то

$$U^2 = \begin{pmatrix} w & 0 \\ 0 & -w \end{pmatrix}, \quad U^{2n} = \begin{pmatrix} w^n & 0 \\ 0 & w^n \end{pmatrix}, \quad U^{2n+1} = \begin{pmatrix} u_1 w^n & u_2 w^n \\ u_3 w^n & -u_1 w^n \end{pmatrix}.$$

$$\begin{aligned} x_{11} &= 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{w^n}{2n!} + u_1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{w^n}{(2n+1)!} = \\ &= 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{z^{2n}}{2n!} + \frac{u_1}{z} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{z^{2n+1}}{(2n+1)!} = \operatorname{ch} z + \frac{u_1}{z} \operatorname{sh} z; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{22} &= 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{w^n}{2n!} - u_1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{w^n}{(2n+1)!} = \\ &= 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{z^{2n}}{2n!} - \frac{u_1}{z} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{z^{2n+1}}{(2n+1)!} = \operatorname{ch} z - \frac{u_1}{z} \operatorname{sh} z; \end{aligned}$$

$$x_{12} = u_2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{w^n}{(2n+1)!} = \frac{u_2}{z} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{z^{2n+1}}{(2n+1)!} = \frac{u_2}{z} \operatorname{sh} z,$$

$$x_{13} = \frac{u_3}{z} \operatorname{sh} z.$$

Пусть теперь  $w$  действительное. Обозначим  $r = |z| \in \mathbf{R}$ . Тогда для неотрицательного  $w$ :  $w = r^2 = z^2$ , а для неположительного  $w$ :  $w = -r^2 = (ir)^2$ . Учитывая, что  $\operatorname{ch} ir = \cos r$ ,  $\operatorname{sh} ir = i \sin r$ , получаем соответственно матрицы

$$X = \begin{pmatrix} \operatorname{ch} r + \frac{u_1}{r} \operatorname{sh} r & \frac{u_2}{r} \operatorname{sh} r \\ \frac{u_3}{r} \operatorname{sh} r & \operatorname{ch} r - \frac{u_1}{r} \operatorname{sh} r \end{pmatrix},$$

$$X = \begin{pmatrix} \cos r + \frac{u_1}{r} \sin r & \frac{u_2}{r} \sin r \\ \frac{u_3}{r} \sin r & \cos r - \frac{u_1}{r} \sin r \end{pmatrix}.$$

При  $r = 0$  доопределим  $\frac{\text{sh } r}{r} = \frac{\sin r}{r} = 1$ , и матрицы при этом совпадают.

Для того, чтобы выяснить, является ли экспоненциальное отображение биективным, мы решаем следующие системы с дополнительным условием  $r \geq 0$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,5(x_{11} + x_{22}) = \text{ch } r, \\ x_{12} = u_2 \frac{\text{sh } r}{r}, \\ x_{21} = u_3 \frac{\text{sh } r}{r}, \\ 0,5(x_{11} - x_{22}) = u_1 \frac{\text{sh } r}{r} \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,5(x_{11} + x_{22}) = \cos r, \\ x_{12} = u_2 \frac{\sin r}{r}, \\ x_{21} = u_3 \frac{\sin r}{r}, \\ 0,5(x_{11} - x_{22}) = u_1 \frac{\sin r}{r} \end{array} \right. \quad (3)$$

Необходимое и достаточное условие существования решения  $(u_1, u_2, u_3)$  системы (2):  $x_{11} + x_{22} \geq 2$ , и тогда оно единственное. Система (3) имеет решение только при условии  $2 \leq x_{11} + x_{22} \leq 2$ , и, при этом, оно не единственное. Тем самым, отображение (1) ни является сюръективным, ни инъективным.

Часть  $G_1$  алгебры Ли  $SL(2, \mathbf{R})$ , удовлетворяющая неравенству  $u_1^2 + u_2 u_3 < 0$ , отображается взаимно-однозначно на открытое подмногообразие группы Ли  $SL(2, \mathbf{R})$ , которое определяется неравенством  $x_{11} + x_{22} > 2$  (элементы, удовлетворяющие этому

условию называются гиперболическими). Очевидно, что  $G_1$  представляет собой внутренность конической поверхности второго порядка, и эта поверхность называется конусом параболических векторов.

### **Литература**

1. Подоксёнов М.Н., Горовая Я.В. Максимальная группа изометрий лоренцевой группы Ли  $A^+(1) \times A^+(1)$  // Математические структуры и моделирование. 2022. № 2 (62). С. 154–162.
2. Подоксёнов М.Н., Шпакова Ю.А. Самоподобное однородное лоренцево многообразии группы Ли  $SE(2) \times R^+$  // Математические структуры и моделирование. 2023. № 1 (65) С. 46–54.

**А.В. Ильев**

*Кавказский математический центр  
Адыгейского государственного университета, г. Майкоп, Россия;  
Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Омский филиал),  
г. Омск, Россия  
SPIN-код: 3902-5583*

## **ОБ ОЦЕНКЕ СЛОЖНОСТИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ГРАФА В ЗАДАЧАХ CLUSTER DELETION И CLUSTER EDITING С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА РАЗМЕРЫ КЛАСТЕРОВ**

Задачей кластеризации называется задача разбиения заданного множества объектов на несколько попарно непересекающихся подмножеств – кластеров, при этом учитывается только сходство объектов друг с другом. В задачах кластеризации графов отношение сходства на множестве объектов задается неориентированным графом без петель и кратных ребер, т.е. обыкновенным графом, вершины которого находятся во взаимно однозначном соответствии с объектами, а ребра соответствуют парам схожих объектов. Обыкновенный граф называется кластерным графом, если каждая его компонента связности является полным графом.

Пусть  $V$  – конечное множество. Если  $G_1 = (V, E_1)$  и  $G_2 = (V, E_2)$  – обыкновенные графы, то расстояние  $d(G_1, G_2)$  между ними определяется как

$$d(G_1, G_2) = |E_1 \setminus E_2| + |E_2 \setminus E_1|.$$

В задаче Cluster Editing (CE) для данного графа  $G$  требуется найти ближайший к нему кластерный граф на том же множестве вершин, а в задаче Cluster Deletion (CD) требуется найти ближайший к  $G$  кластерный подграф на том же множестве вершин.

В работе рассматриваются задачи кластеризации на графах CE и CD, в которых размеры кластеров ограничены сверху числом  $s$ . Через  $M^{\leq s}(V)$  обозначается множество всех кластерных графов, в которых размер любой компоненты связности не превосходит  $s$ .

**Задача CE<sup>≤s</sup>.** Дан граф  $G=(V, E_G)$  и целое число  $s$ ,  $2 \leq s \leq |V|$ . Требуется найти такой кластерный граф  $M^* \in M^{\leq s}(V)$ , что

$$d(G, M^*) = \min_{M \in M^{\leq s}(V)} d(G, M) = t_{CE}^{\leq s}(G).$$

**Задача CD<sup>≤s</sup>.** Дан граф  $G=(V, E_G)$  и целое число  $s$ ,  $2 \leq s \leq |V|$ . Требуется найти такой кластерный подграф  $M^* \in M^{\leq s}(V)$  графа  $G$ , что

$$d(G, M^*) = \min_{\substack{M \in M^{\leq s}(V) \\ E_M \subseteq E_G}} d(G, M) = t_{CD}^{\leq s}(G).$$

Величины  $t_{CE}^{\leq s}(G)$ ,  $t_{CE}^{\leq s}(G)$ ,  $t_{CD}^{\leq s}(G)$  и  $t_{CD}^{\leq s}(G)$ , обозначающие расстояние от графа  $G$  до ближайшего кластерного графа в задачах CE, CE<sup>≤s</sup>, CD и CD<sup>≤s</sup> соответственно, называются сложностью кластеризации графа  $G$  в каждой из этих задач. Для любого графа  $G$  всякое оптимальное решение задачи CD<sup>≤s</sup> является либо оптимальным, либо приближенным решением задачи CE<sup>≤s</sup>. Поэтому для любого  $n$ -вершинного графа  $G$  и  $s \geq 2$  справедливо неравенство  $t_{CE}^{\leq s}(G) \leq t_{CD}^{\leq s}(G)$ .

В [1] доказано, что в задаче CE для любого  $n$ -вершинного графа  $G$  имеет место оценка сложности кластеризации, зависящая только от  $n$ :

$$t_{CE}^{\leq s}(G) \leq \left\lfloor \frac{(n-1)^2}{4} \right\rfloor.$$

Однако в задаче кластеризации на графах, в которой размеры кластеров ограничены сверху числом  $s$ , оценка сложности кластеризации не только превосходит значение оценки для задачи без таких ограничений, но и имеет вид, зависящий от  $n$  и от

$s$ . В [2] получен наиболее существенный результат о том, что для любого  $s \geq 5$ ,  $n \geq 6$  и произвольного  $n$ -вершинного графа  $G$

$$t_{CE}^{\leq s}(G) \leq \frac{1}{2}n^2 - \frac{5}{2}n + 3,$$

причем эта оценка достижима, например, на полном двудольном графе  $K_{3,3}$ .

В настоящей работе предложена оценка величины  $t_{CD}^{\leq s}(G)$ , которая также является лучшей известной оценкой величины  $t_{CE}^{\leq s}(G)$  при  $s > 5$  для всякого  $n$ -вершинного графа  $G$ , где

$$n > \frac{s^2 + 8s + 42}{24} + \frac{3}{4(s-5)}.$$

**Теорема.** При  $s \geq 4$  для любого  $n$ -вершинного графа  $G$

$$t_{CD}^{\leq s}(G) \leq \left\lfloor \frac{1}{2}n^2 - \frac{s}{2}n + \frac{s(s+1)(s+2)}{48} \right\rfloor.$$

### Литература

1. Фридман Г.Ш. Исследование одной задачи классификации на графах // Методы моделирования и обработки информации. Новосибирск: Наука, 1976. С. 147–177.
2. П'ев А., П'ев В. Clustering Complexity and an Approximation Algorithm for a Version of the Cluster Editing Problem // 23rd International Conference "Mathematical Optimization Theory and Operations Research", Lecture Notes in Computer Science, Cham, Springer, 2024. Vol. 14766. P. 103–115.

**Т.В. Леванова<sup>1,2</sup>, А.Е. Кошечая<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,  
г. Омск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Омский филиал,  
г. Омск, Россия*

SPIN-код: 5465-0869

## **МНОГОСТАДИЙНЫЕ МОДЕЛИ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЫШЕК РАДИОСВЯЗИ**

Разработка систем радиосвязи остается актуальной и в наше время, несмотря на широкое использование современных средств передачи информации. Например, в условиях Крайнего Севера использование спутниковой связи затруднено высоким уровнем магнитного поля. Вследствие этого и сложных природных условий невозможна повсеместная организация сотовой связи. Отдаленные территории редко заселены, поэтому возникают проблемы с обслуживанием установленного оборудования. Однако наличие связи крайне важно для населения, судоходства, работы геологов и других специалистов.

Одним из этапов создания сетей связи является определение мест расположения радиовышек. Такие вопросы служат предметом дискретных задач оптимального размещения, методы решения которых в настоящее время активно развиваются [2]. По мнению специалистов экономически и технически обосновано размещение радиовышек в крупных населенных пунктах. От них следует передавать информацию через ретрансляторы. Другими словами, сигнал должен проходить несколько стадий производства и передачи. В данной работе с целью организации радиосвязи предлагается использовать модели многостадийных задач размещения [1; 3]. Для передачи информации используются наборы из одного радиопередатчика и одного или двух ретрансляторов. Формулируются двухстадийные и трехстадийные модели различных видов, описывающие эти ситуации. В заключении обсуждаются возможные пути решения.

## Литература

1. *Гончаров Е.Н., Кочетов Ю.А.* Вероятностный жадный алгоритм с ветвлениями для многостадийной задачи размещения // Труды XI международной Байкальской школы-семинара, Иркутск 98. Иркутск, 1998. С. 121–124.
2. *Mirchandani Pitu B., Francis R.L.* Discrete location theory. New York: Wiley, 1990.
3. *Levanova T.V., Belan S.E.* Local Search algorithm for two-stage problem of radio communication systems planning // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1260. 082002.

**Секция**  
**«Математические модели и методы»**

---

УДК 519.6:532.546

***Х.М. Гамзаев<sup>1</sup>, С.О. Гусейнзаде, С.Р. Керимова***

*Азербайджанский Государственный Университет Нефти  
и Промышленности, г. Баку, Азербайджан*

<sup>1</sup>SPIN-код: 7160-6899

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ  
В НЕФТЯНОМ ПЛАСТЕ  
ПРИ ТЕПЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

Известно, что тепловое воздействия на пласт позволяет значительно снизить вязкость и плотность пластовых нефтей, увеличить подвижность нефти, а также существенно влияет как на текущие фильтрационные характеристики, так и на конечную нефтеотдачу [1; 2]. Для установления оптимального технологического режима теплового воздействия на пласт, необходимо знать температурное поле пласта. Однако определить распределение температуры в пласте экспериментальным путем невозможно, поскольку процесс теплового воздействия проводится на значительной глубине и недоступен для непосредственного измерения. Поэтому одним из основных инструментов исследования температурных полей, возникающих на нефтяном пласте при тепловом воздействии, является компьютерное моделирование процессов теплопереноса в пласте.

Рассматривается горизонтальный прямоугольный нефтяной пласт протяженностью  $L$ , постоянной толщины и ширины, разрабатывается с применением теплового воздействия. Тепло подается в пласт через галерею эксплуатационных скважин, рас-

положенную в сечении  $x = 0$ , путем нагрева ее. Перенос теплоты в пласте осуществляется конвективным путем, т. е. вместе с движущимися частицами нефти и за счет теплопроводности вдоль пласта. Математическая модель процесса теплопереноса в пласте представляется в виде [2]

$$c \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} + v(t)c_f \frac{\partial T(x,t)}{\partial x},$$

$$(x,t) \in \Omega = \{0 < x < l, 0 < t \leq t_m\}, \quad (1)$$

где  $T(x,t)$  – температура в пласте;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности пласта;  $c = mc_f + (1-m)c_p$ ,  $c_f, c_p$  – объемные теплоемкости нефти и скелета пласта;  $m$  – коэффициент пористости;  $v(t)$  – скорость притока нефти к галерее скважин.

Единственный источник информации о процессах, происходящих в пласте при тепловом воздействии, является галерея скважин, где температура и количество теплоты, вносимой в пласт, доступны к непосредственному измерению. Предполагается, что температура на галерее и количество теплоты, вносимой в пласт через галерею, изменяются с течением времени по заданным законам, т. е. для уравнения (1) задаются следующие условия

$$T(0,t) = \theta(t), \quad (2)$$

$$-\lambda \frac{\partial T(0,t)}{\partial x} + v(t)c_f T(0,t) = w(t). \quad (3)$$

В связи с тем, что температура и поток тепла на внешней границе пласта, а также начальное распределение температуры в пласте не доступны к непосредственным измерениям, сформулировать начальное условие и граничное условие, соответствующее теплообмену пласта с окружающей областью, не представляется возможным.

Таким образом, задача определения температурного поля пласта при тепловом воздействии сводится к решению уравнения (1) при выполнении условий (2), (3). Задача (1)–(3) относится к классу граничных обратных задач без начальных условий [3].

Для численного решения поставленной обратной задачи сначала методом разностной аппроксимации строится дискретный аналог задачи на равномерной разностной сетке

$$c \frac{T_i^j - T_i^{j-1}}{\Delta t} = \lambda \frac{T_{i+1}^j - 2T_i^j + T_{i-1}^j}{\Delta x^2} + v^j c_f \frac{T_{i+1}^j - T_i^j}{\Delta x}, \quad (4)$$

$$i = \overline{1, n-1}, \quad j = \overline{1, k}, \quad T_0^j = \theta^j, \quad (5)$$

$$-\lambda \frac{T_1^j - T_0^j}{\Delta x} + v^j c_f T_0^j = w^j. \quad (6)$$

Как видно дискретный аналог задачи (1)–(3) представляет собой систему линейных алгебраических уравнений, в которой в качестве неизвестных выступают  $T_i^j$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{0, k}$ , т. е. приближенные значения искомой функции  $T(x, t)$  в узловых точках разностной сетки.

Для решения полученной системы линейных алгебраических уравнений (4)–(6) предлагается специальная вычислительная процедура, позволяющая определить температуры во всех узловых точках разностной сетки, за исключением некоторой треугольной области. На основе предложенного вычислительного алгоритма были проведены численные эксперименты для модельного нефтяного пласта.

### Литература

1. Сучков Б. М. Температурные режимы работающих скважин и тепловые методы добычи нефти. М.: ИКИ, 2007.
2. Басниев К. С., Власов А. М., Кочина И. Н., Максимов В. М. Подземная гидравлика. М.: Недра, 1986.
3. Alifanov O.M. Inverse Heat Transfer Problems. Berlin: Springer, 2011.

***Н.Х. Байрамова***

*Азербайджанский Государственный Университет Нефти  
и Промышленности, г. Баку, Азербайджан  
SPIN-код: 5108-6823*

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАЗМЕРА ЧАСТИЦЫ В ПРОЦЕССЕ ОСАЖДЕНИЯ В ГРАВИТАЦИОННОМ СЕПАРАТОРЕ**

Известно, что поведение дисперсных частиц (твердых частиц, капель, пузырьков) при их гравитационном осаждении представляет определенный интерес для решения различных практических задач. Процессы гравитационного осаждения важны для описания атмосферных осадков, поведения облаков, туманов, распространения капель аэрозолей и других процессов [1]. Основными характеристиками частиц дисперсной фазы являются размер, плотность, форма, структура, химический состав и т. д. Необходимо отметить, что практически все свойства частиц дисперсной системы определяются их размером. Поэтому методы измерения размеров частиц имеют большое значение для разных отраслей современной техники и технологии. В настоящее время для определения размеров частиц широко применяется седиментационный метод, основанный на осаждении частиц под действием силы тяжести. Согласно данному методу, измеряется скорость стационарного осаждения частицы в среде и по скорости осаждения из уравнения равномерного движения частицы, построенного на законе Стокса, рассчитывается размер частицы. Однако необходимо отметить, что в большинстве случаев определение скорости стационарного осаждения частицы практически не представляется возможным. В данной работе предлагается более общий подход к определению размера частиц, основанный на использовании перемещения частицы в заданный промежуток времени.

Рассматривается процесс осаждения твердой сферической частицы в покоящейся жидкости в сепараторе. В проекции на ось

Oz, направленную вертикально вниз, на частицу действуют следующие силы:

сила тяжести частицы  $F_g = V_p \rho_p g$ , выталкивающая сила

Архимеда  $F_A = V_p \rho_f g$ ,

сила, связанная с присоединенной массой

$$F_D = \frac{1}{2} V_p \rho_f \frac{du(t)}{dt} \text{ и}$$

сила сопротивления жидкости, определяемая на основе полуэмпирической теории турбулентности Прандтля [2]

$$F_S = 4\pi R^2 \mu \frac{u(t)}{\delta} + 4\pi R^2 \rho_f l^2 \frac{u^2(t)}{\delta^2}.$$

Согласно второму закону Ньютона математическая модель движения частицы в покоящейся жидкости представляется в виде

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \rho_p \frac{du(t)}{dt} = F_g - F_A - F_S - F_D$$

или

$$\left(1 + \frac{\rho_f}{2\rho_p}\right) \frac{du(t)}{dt} = \frac{g(\rho_p - \rho_f)}{\rho_p} - \frac{3\mu}{R\rho_p\delta} u(t) - \frac{3\rho_f l^2}{R\rho_p\delta^2} u^2(t). \quad (1)$$

Для уравнения (1) задается следующее начальное условие

$$u(0) = 0. \quad (2)$$

Предполагается, что помимо функции  $u(t)$  неизвестной является также радиус частицы  $R$  и требуется определить его по заданному перемещению частицы в заданный промежуток времени  $T$

$$L = \int_0^T u(t) dt. \quad (3)$$

Аналитическое решение неоднородного уравнения (1) с учетом начального условия (2), представляется в виде

$$u(t) = \frac{\gamma(\lambda + e^{-kt})}{\lambda - e^{-kt}} - \frac{\mu\delta}{2\rho_f l^2} \quad (4)$$

где

$$\gamma = \sqrt{\frac{\varphi}{\beta}}, \quad \varphi = \frac{2g(\rho_p - \rho_f)}{2\rho_p + \rho_f} + \frac{3\mu^2}{2R\rho_f l^2(2\rho_p + \rho_f)},$$

$$\beta = \frac{6\rho_f l^2}{R(2\rho_p + \rho_f)\delta^2}, \quad \lambda = \frac{\mu\delta / 2\rho_f l^2 + \gamma}{\mu\delta / 2\rho_f l^2 - \gamma}, \quad k = 2\sqrt{\varphi\beta}.$$

После подстановки полученного решения (4) в уравнение (3), получено следующее нелинейное уравнение относительно искомого радиуса частицы  $R$

$$L = \gamma T + \frac{2\gamma}{k} \ln \left| \frac{\lambda - e^{-kT}}{\lambda - 1} \right| - \frac{\mu\delta}{2\rho_f l^2} T. \quad (5)$$

Ввиду нелинейности уравнения (5) найти его аналитическое решение не представляется возможным. Для численного решения уравнения (5) предлагается вычислительный алгоритм [3]. На основе предложенной модели были проведены численные эксперименты.

### Литература

1. *Архипов В.А., Усанина А.С.* Движение частиц дисперсной фазы в несущей среде. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2014.
2. *Гасанов А.А., Гамзаева Н.Х.* Моделирование процесса осаждения твердой частицы из потока жидкости в горизонтальном гравитационном сепараторе // Химическая технология. 2020. № 5. С. 230–235.
3. *Самарский А.А., Гулин А.В.* Численные методы. М.: Наука, 1989.

**С.М. Бородич<sup>1</sup>, Т.В. Кавитова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь  
SPIN-код: 5379-9020*

<sup>2</sup>*Средняя школа № 42 г. Витебска им. Д.Ф. Райцева, г. Витебск, Беларусь  
SPIN-код: 4044-6196*

## **О БИФУРКАЦИИ АНДРОНОВА – ХОПФА В ОДНОЙ СИСТЕМЕ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ**

Рассматривается система обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = kx - axy - v\alpha x^3, \\ \dot{y} = -ly + bxy + v\beta y^3, \end{cases} \quad (1)$$

где  $x = x(t)$ ,  $y = y(t)$ ,  $v$  – положительный параметр, коэффициенты  $k, l, a, b, \alpha$  и  $\beta$  положительны и удовлетворяют условию

$$0 < 2 \left( \frac{a}{b} \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} - \frac{k}{l} \right) < \frac{k}{l} - 1. \quad (2)$$

Система (1) относится к системам типа Лотки – Вольтерры, описывающим различные экологические модели.

При каждом допустимом значении параметра  $v$  рассматриваемая система имеет единственную стационарную точку  $(x_v, y_v)$  с положительными компонентами, причём  $(x_v, y_v)$  непрерывно зависит от  $v$ . Исследуется возможность качественной перестройки фазового портрета системы в окрестности стационарной точки при изменении параметра  $v$ .

Через  $U_r(x_v, y_v)$  обозначаем открытый круг радиуса  $r$  с центром в точке  $(x_v, y_v)$ .

Под *диаметром*  $D(\omega)$  *периодической орбиты*  $\omega$  понимаем точную нижнюю грань множества диаметров всех кругов в фазовом пространстве системы, содержащих  $\omega$ .

Методами, изложенными в [1; 2], устанавливается, что значение

$$v_0 = \frac{(la\sqrt{\alpha/\beta} - bk)(a\sqrt{\alpha/\beta} - b)}{\alpha(k-l)^2} \quad (3)$$

является бифуркационным для параметра  $v$ , причём существуют такие  $r > 0$  и  $\delta > 0$ , что выполняются условия:

1) для любого  $v \in (v_0 - \delta, v_0]$  стационарная точка  $(x_v, y_v)$  является устойчивым фокусом и  $U_r(x_v, y_v)$  не содержит периодических орбит системы (1);

2) для любого  $v \in (v_0, v_0 + \delta)$  стационарная точка  $(x_v, y_v)$  – неустойчивый фокус, а в  $U_r(x_v, y_v)$  существует единственная периодическая орбита  $\omega_v$  системы (1), причём  $\omega_v$  асимптотически устойчива и  $D(\omega_v) \rightarrow 0$  при  $v \rightarrow v_0+$ .

Значение  $v_0$  параметра  $v$ , удовлетворяющее указанным выше условиям, называется *точкой бифуркации Андронова – Хопфа*. Таким образом, справедлива следующая теорема.

**Теорема.** При выполнении условия (2) система (1) имеет единственную точку бифуркации Андронова – Хопфа, которая находится по формуле (3).

### Литература

1. *Понтрягин Л.С.* Обыкновенные дифференциальные уравнения. 6-е изд. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019.
2. *Хенри Д.* Геометрическая теория полулинейных параболических уравнений. М.: Мир, 1985.

*А.Г. Гутор<sup>1</sup>, Г.Г. Соколовский, С.П. Сташулёнок<sup>2</sup>*

*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

<sup>1</sup>SPIN-код: 4938-9438; <sup>2</sup>SPIN-код: 2078-7905

## СУЩЕСТВОВАНИЕ ОБОБЩЁННОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ И ИХ СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Настоящая работа является продолжением статьи [1].

Пусть случайная величина  $\xi$  удовлетворяет условию

$$P(|\xi| > n) = o\left(\frac{1}{n}\right), \quad (1)$$

тогда в [2, с. 100] предлагается рассматривать выражение

$$\widehat{M}\xi = \lim_{a \rightarrow +\infty} \int_{-a}^a x F_{\xi}(dx) \quad (2)$$

в качестве обобщенного математического ожидания случайной величины  $\xi$ .

Пусть  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \dots$  – последовательность независимых одинаково распределенных величин. И пусть

$$\eta_n = \frac{\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n}{n}.$$

Рассмотрим постоянную  $M^{\circ}\xi$  такую, что при каждом  $\varepsilon > 0$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{|\eta_n - M^{\circ}\xi| > \varepsilon\} = 0.$$

Тогда, если существует постоянная  $M^{\circ}\xi$ , то  $M^{\circ}\xi = \widehat{M}\xi$ . Необходимым и достаточным условием для её существования является существование предела (2) и выполнения соотношения (1).

Если существует математическое ожидание в классическом понимании,  $M^{\circ}\xi = M\xi$ . Таким образом,  $M^{\circ}\xi$  является обобщением математического ожидания.

Но обобщённое математическое ожидание определено не для всех случайных величин. Так в [1] было показано, что у стандартной случайной величины Коши нет обобщённого математического ожидания. Для обоснования того факта, что математического ожидания  $M^\circ \xi$  является действительно более общим, чем классическое, рассмотрим случайную величину из [2, с. 104] со следующей плотностью:

$$f_\xi(x) = \frac{C}{(|x|+2)^2 \cdot \ln(|x|+2)}, \quad (3)$$

где постоянная  $C$  определяется исходя из условия, что интеграл от этой плотности по  $\mathbb{R}$  равен единице. Используя Wolfram Mathematica, получаем  $C \approx 1,320407$ .

Можно проверить, что для данной случайной величины выполняется условие (1), делается это аналогично [1, с.62], и её обобщённое математическое ожидание равно нулю, однако интеграл

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x| f_\xi(x) dx$$

расходится, т. е. классическое математическое ожидание не существует.

Выясним, как наличие обобщенного математического ожидания сказывается на выборочном среднем [3, с. 265]. Смоделируем 10 выборок объёма 1000 каждая из равномерного распределения на  $[0,1]$  в Wolfram Mathematica. Далее методом обратной функции, который мы применим к этим выборкам, получим 10 выборок из распределения Коши. Пользуясь этим же методом, построим выборки из распределения с плотностью вероятности  $f_\xi(x)$ . Но поскольку функция распределения данной случайной величины не выражается в элементарных, значения обратной функции будем искать численно, методом половинного деления. Посчитаем их выборочные средние.

**Таблица выборочных средних**

Уровень значимости по критерию Колмогорова	Равномерное распределение на $[0, 1]$	Распределение с плотностью $f_{\xi}(x)$	Распределение Коши
0.999199	0.499347	-3.9224	8.7848
0.233473	0.508527	-0.471455	-0.775243
0.0737252	0.484316	0.39014	0.753059
0.920737	0.501922	-0.00699607	-0.0170798
0.282935	0.510027	-0.655163	-1.48756
0.35214	0.504492	6.14428	15.0134
0.396207	0.507946	0.218887	0.278789
0.833893	0.49705	-1.08174	-2.2091
0.81205	0.501644	-0.0983168	-0.141242
0.482098	0.507058	0.703309	1.03773

Из таблицы мы видим, что для равномерного распределения, у которого математическое ожидание равно 0.5, происходит группировка значений выборочного среднего около математического ожидания. Для распределения Коши такой группировки около нуля не происходит, что соответствует данным о том, что у него не существует математического ожидания (ни обычного, ни обобщенного). Для распределения с плотностью (3) (обобщённое математическое ожидание у нее равно нулю) значения выборочных средних располагаются к нулю ближе, чем в случае с величиной Коши.

### Литература

1. Гутор А.Г., Сташулёнок С.П. О придании смысла понятию математического ожидания случайной величины коши // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов XI Международной научной конференции, посвященной памяти В.А. Ромашкова (Омск, 15 марта 2024 г.) / [отв. за вып. И. П. Бесценный]. Омск: Издательство Омского государственного университета, 2024. С. 61–63.
2. Колмогоров А.Н. Основные понятия теории вероятностей. 2-е изд. М.: Наука, 1974.
3. Лазакевич Н.В., Сташулёнок С.П., Яблонский О.Л. Теория вероятностей: учебник. 3-е изд., с изменен. Минск: БГУ, 2013.

**А.И. Никитин**

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь  
SPIN-код: 1642-7332*

**ОТСУТСТВИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ  
НАЧАЛЬНО-КРАЕВЫХ ЗАДАЧ  
ДЛЯ СИСТЕМ ПОЛУЛИНЕЙНЫХ  
ПАРАБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ  
С ПОГЛОЩЕНИЕМ И НЕЛИНЕЙНЫМИ  
НЕЛОКАЛЬНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ\***

Рассмотрим начально-краевую задачу для системы полулинейных параболических уравнений с поглощением и нелинейными нелокальными граничными условиями Неймана:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_t = \Delta u - c_1(x, t)v^p, v_t = \Delta v - c_2(x, t)u^q, x \in \Omega, t > 0, \\ \frac{\partial u(x, t)}{\partial \eta} = \int_{\Omega} k_1(x, y, t)u^m(y, t)dy, x \in \partial\Omega, t > 0, \\ \frac{\partial v(x, t)}{\partial \eta} = \int_{\Omega} k_2(x, y, t)v^n(y, t)dy, x \in \partial\Omega, t > 0, \\ u(x, 0) = u_0(x), v(x, 0) = v_0(x), x \in \Omega, \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $p, q, m, n$  – положительные постоянные,  $\Omega$  – ограниченная область в  $\mathbb{R}^N$  ( $N \geq 1$ ), с гладкой границей  $\partial\Omega$ ,  $\eta$  – единичная внешняя нормаль к  $\partial\Omega$ .

Относительно данных задачи (1) будем предполагать следующее:

$$c_i(x, t) \in C_{loc}^{\alpha}(\bar{\Omega} \times [0, +\infty)), 0 < \alpha < 1, c_i(x, t) \geq 0, i = 1, 2;$$

---

\* Данные исследования проводятся в рамках научно-исследовательской работы № Ф23М-021 «Системы полулинейных параболических уравнений с поглощением» при финансовой поддержке БРФФИ.

$$k_i(x, y, t) \in C(\partial\Omega \times \bar{\Omega} \times [0, +\infty)), k_i(x, y, t) \geq 0, i = 1, 2;$$

$$u_0(x), v_0(x) \in C^1(\bar{\Omega}), u_0(x) \geq 0, v_0(x) \geq 0 \text{ в } \Omega;$$

$$\frac{\partial u_0(x)}{\partial \eta} = \int_{\Omega} k_1(x, y, 0) u_0^m(y) dy, \frac{\partial v_0(x)}{\partial \eta} = \int_{\Omega} k_2(x, y, 0) v_0^n(y) dy \text{ на } \partial\Omega.$$

Тогда для задачи (1) справедливо следующее утверждение.

**Теорема.** Пусть  $\min(m, n) > \max(1, pq)$  и выполняется условие

$$k_i(x, y, t_0) > 0, i = 1, 2,$$

для некоторого  $t_0 > 0$ , если  $pq \leq 1$ , и  $t_0 = 0$ , если  $pq > 1$ . Тогда существуют решения задачи (1), которые определены только на конечном временном интервале.

### Литература

1. Gladkov A.L. Initial boundary value problem for a semilinear parabolic equation with absorption and nonlinear nonlocal boundary condition // Lithuanian Mathematical Journal. 2017. Vol. 57, № 4. P. 468–478.

**Л.В. Маркова, Н.А. Журавский<sup>1</sup>, Е.В. Коробко**

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова  
Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Беларусь*

<sup>1</sup>SPIN-код: 4573-2310

## **ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ НА ЕЕ РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

В зависимости от области применения магнитореологических жидкостей (МРЖ) к их свойствам предъявляются различные требования. Эти жидкости обладают способностью практически мгновенно изменять свою реологию под воздействием магнитных полей. Свойства МРЖ также сильно зависят от состава реологической жидкости, что позволяет изменять и регулировать их проявление рецептурой. Известно, что высокий реологический эффект обуславливается объемной долей ферромагнетика в магнитореологической суспензии, которая может составлять более 45 %.

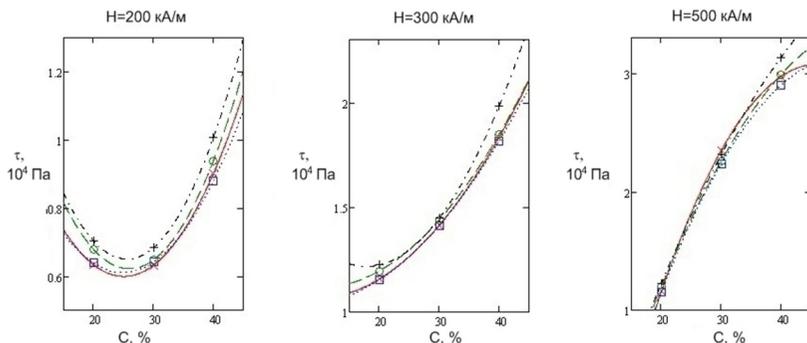
В настоящей работе исследовано влияние состава магнитореологических жидкостей на их реологические свойства в магнитном поле. На ротационном вискозиметре НААКЕ RV 12 с измерительной ячейкой типа пластина – пластина, оснащенном индуктором магнитного поля, определены кривые течения (зависимости напряжения сдвига  $\tau$  от скорости сдвига  $\gamma$ ) составов МРЖ с 20, 30 и 40 объемных % карбонильного железа в диапазоне напряженностей магнитного поля  $H$  50–500 кА/м.

Ранее [1] нами рассмотрена зависимость напряжения сдвига от концентрации дисперсной фазы при изменяющихся напряженности внешнего магнитного поля и скорости сдвига в диапазоне малых скоростей сдвига. В настоящей работе определена функциональная зависимость напряжения сдвига МРЖ от концентрации при высоких скоростях сдвига  $\gamma = 67, 134, 268$  и  $536 \text{ с}^{-1}$ . Модель поведения исследованных составов МРЖ построена методом наименьших квадратов и представлена на рисунке.

Функциональная зависимость является параболой, на значение коэффициентов которой влияют изменения напряженности магнитного поля и скорости сдвига:

$$\tau = \tau_0 + a(H, \gamma)C^2 + b(H, \gamma)C + c(H, \gamma),$$

где  $\tau$  – напряжение сдвига,  $\tau_0$  – динамический предел текучести,  $H$  – напряженность магнитного поля,  $C$  – концентрация,  $\gamma$  – скорость сдвига. Для всех исследуемых образцов принято  $\tau_0 = 10^4$  Па.



Модель реологического поведения МРЖ в магнитном поле.

Данные эксперимента отображены дискретными символами

$\times$ ,  $\square$ ,  $\circ$ ,  $+$  при скоростях сдвига  $\gamma = 67, 134, 268$  и  $536 \text{ с}^{-1}$  соответственно

Параметры  $a$ ,  $b$  и  $c$  зависят более существенно от напряженности магнитного поля, чем от скорости сдвига. При увеличении  $H$  от 200 до 300 кА/м величина  $a$  уменьшается более чем в полтора раза, а при 500 кА/м она становится отрицательной, в то время как величина  $b$ , отрицательная при 200 и 300 кА/м, становится положительной. В результате при более высоких значениях напряженности магнитного поля зависимость напряжения сдвига от концентрации дисперсной фазы близка к линейной. Анализ аппроксимирующей функции позволяет утверждать, что для всех скоростей сдвига с ростом напряженности магнитного поля происходит его доминирование на формирование реологического состояния МРЖ по сравнению с ее концентрацией.

Таким образом, в результате исследований построена модель состояния магнитореологической жидкости. В настоящее время актуальным остается вопрос о синтезе магнитоуправляе-

мых жидкостей для конкретных научных и производственных задач, и полученная эмпирическая модель МРЖ позволит рассчитать величины концентрации дисперсной фазы, требуемые для достижения необходимых силовых параметров устройства с использованием магнитореологических материалов при полуактивном управлении устройствами в реальном режиме времени.

### **Литература**

1. *Маркова Л.В., Журавский Н.А., Коробко Е.В., Радкевич Л.В.* Модель поведения магнитореологической жидкости // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов XI Международной научной конференции (Омск, 15 марта 2024 г.). Омск: Издательство Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского, 2024. С. 47–48.

**Л.В. Маркова, Е.В. Коробко, И.М. Харламова**

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова  
Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Беларусь*

## **НЕЛИНЕЙНАЯ ДВУХФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ**

В работе [1] рассматривался процесс моделирования зависимости напряжения сдвига  $\tau$  образца электрореологической жидкости от напряженности постоянного электрического поля  $E$  при различных значениях температуры. Создана двухфакторная линейная модель изменения  $\tau$  под воздействием внешних электрических и температурных полей. Исследуемая ЭРЖ содержит 20 вес. % сложного оксида  $Sr_2Ga_{0,5}Al_{0,4}Ni_{0,1}O_{4-8}$  с перовскитоподобной структурой в дисперсионной среде. В лаборатории реофизики и макрокинетики зависимость напряжения сдвига ЭРЖ ( $\tau$ , Па) от напряженности постоянного электрического поля  $E$  ( $E = 0-4,5$  кВ/мм) измерялась в температурном диапазоне  $T = 20-60$  °С при постоянной скорости сдвига  $\dot{\gamma} = 17,2$  с<sup>-1</sup>.

Известно, что линейные модели обладают малой точностью и информативностью. Поэтому поиски более сложной зависимости  $\tau$  ( $T$ ,  $E$ ) были продолжены. Исследовалось поведение  $\tau$  ( $E$ ) при фиксированных в экспериментах значениях  $T$ , построена серия графиков  $\tau$  ( $E$ ) при всех значениях температуры  $T$  и найден оптимальный вариант функциональной зависимости процесса  $\tau$  ( $E$ ).

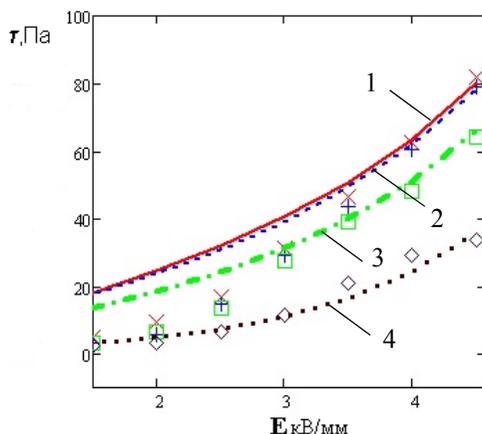
Аналогичным образом получена серия графиков  $\tau$  ( $T$ ) при фиксированных значениях  $E$ . Кривые на построенных графиках не параллельны, а значит, функции, их описывающие, не являются сепарабельными (независимыми друг от друга). Следовательно, при построении двухфакторной математической модели необходимо учитывать влияние факторов друг на друга и семейство кривых следует описывать уравнением вида:

$$\tau(E, T) = \tau(E) + \tau(T) + \tau(E)\tau(T) + const.$$

В нашем случае после преобразований и упрощений получили модель вида:

$$\tau(E, T) = 1,021 \cdot e^{0,79 \cdot E} - 0,15 \cdot E \cdot e^{0,036 \cdot T} \cdot (T - 50).$$

Отобразим результат моделирования на рисунке.



Зависимости напряжения сдвига  $\tau$  образца ЭРЖ от напряженности постоянного электрического поля  $E$  при различных значениях температуры.

Экспериментальные данные на графике обозначены:

$\times$  – 20 °C,  $+$  – 30 °C,  $\square$  – 40 °C,  $\diamond$  – 50 °C;

линии уравнения регрессии в соответствующем порядке:

1 – 20 °C, 2 – 30 °C, 3 – 40 °C, 4 – 50 °C

Таким образом, нами построена двухфакторная нелинейная модель изменения напряжения сдвига электрореологической жидкости под воздействием внешних электрических и температурных полей, которая позволит строить алгоритмы управления работой устройств, функционирование которых зависит от характеристик электрореологической жидкости сложного оксида  $\text{Sr}_2\text{Ga}_{0,5}\text{Al}_{0,4}\text{Ni}_{0,1}\text{O}_{4-\delta}$  с перовскитоподобной структурой в дисперсионной среде.

## Литература

1. Коробко Е.В., Маркова Л.В., Корчевская Е.А., Адаменко Н.Д. Двухфакторная модель реологически сложной жидкости // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. 2024. № 1 (122). С. 12–18.

***М.В. Мартон***

*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*  
SPIN-код: 3622-1157

## **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА И ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ В ПОДГОТОВКЕ КУРСАНТОВ-МЕЖДУНАРОДНИКОВ**

Современная математика и информатика играют центральную роль в формировании и развитии мировой культуры, оказывая влияние на все аспекты человеческой жизни. Рассмотрим несколько ключевых аспектов этого влияния. Их развитие формирует основу для будущих достижений человечества, влияя на наше восприятие мира и на то, как мы взаимодействуем друг с другом. Становление и развитие информационного общества, характеризующегося высоким уровнем информационных технологий, развитыми инфраструктурами, обеспечивающими возможности доступа и переработки информации, процессами ускоренной автоматизации всех отраслей производства, усилили роль математического образования в профессиональной деятельности. В настоящее время математика все глубже проникает во все сферы деятельности человека. Математические идеи и методы применяются в экономике, лингвистике, психологии, социологии, политологии, юриспруденции и других гуманитарных направлениях знания. Большинство из перечисленных дисциплин являются профильными для студентов-международников. Поэтому без качественной математической подготовки невозможно сформировать современное мировоззрение будущего специалиста-международника [1, с. 66].

Рассмотрим, как именно эти области знаний влияют на профессиональную деятельность в сфере международных отношений.

1. Анализ данных и моделирование: Высшая математика предоставляет методы количественного анализа, которые применяются для прогнозирования и моделирования международных

процессов. Например, математическое моделирование может быть использовано для анализа глобальных экономических трендов, прогнозирования политической стабильности или динамики международных конфликтов.

2. Кибербезопасность и информационная защита: В эпоху цифровизации вопросы кибербезопасности становятся критически важными в международных отношениях. Знания в области информатики позволяют специалистам понимать угрозы, связанные с кибератаками, защитой государственных информационных систем и дипломатической перепиской. Это включает в себя навыки в области криптографии, защиты данных и оценки рисков киберугроз.

3. Геополитический анализ и большие данные: Информатика играет важную роль в анализе больших данных, что становится всё более важным для специалистов по международным отношениям. Сбор, обработка и анализ больших массивов информации позволяют лучше понимать глобальные тенденции и принимать обоснованные решения.

4. Экономическая дипломатия: Высшая математика важна для понимания и анализа международных финансовых систем, торговых соглашений и экономических санкций. Специалисты в области МО должны обладать навыками экономического анализа для эффективного ведения переговоров и оценки последствий экономической политики.

5. Управление проектами и логистика: Организация международных мероприятий, гуманитарных миссий и дипломатических визитов требует знания оптимизации процессов и логистики. Математические методы, такие как линейное программирование, помогают оптимизировать маршруты, ресурсы и время, что особенно важно при планировании крупных международных событий.

6. Технологическая дипломатия: Современная международная политика всё чаще включает аспекты технологической дипломатии. Специалисты должны разбираться в вопросах регулирования новых технологий, таких как искусственный интеллект интернет вещей, а также понимать, как эти технологии влияют на международные отношения.

Такими образом Высшая математика и информатика предоставляют специалистам по международным отношениям критически важные инструменты для анализа сложных международных процессов, принятия решений и прогнозирования развития глобальных событий. В условиях растущей взаимосвязанности и цифровизации мирового сообщества, эти навыки становятся всё более востребованными, дополняя традиционные гуманитарные подходы и обогащая сферу международных отношений. Математика и информационные технологии сегодня неразделимы, и правильная организация учебного процесса существенно повышает эффективность изучения и понимания каждой из этих дисциплин [2, с. 253].

### **Литература**

1. *Велько О.А., Мартон М.В.* Методологические проблемы высшей математики и информатики в подготовке курсантов-международников // Проблемы преподавания высшей математики и информатики в условиях новой образовательной парадигмы: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 18–19 апреля 2024 г. Минск, 2024. С. 66–68.
2. *Мартон М. В.* Интеграция математики и информатики для студентов гуманитарных направлений // Методология и фил. преп. матем. и информатики: к 50-летию основания кафедры ОМиМ БГУ: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24-24 апреля 2015 г. Минск: Изд. Центр БГУ, 2015. С. 252–255.

***Н.В. Михайлова***

*Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь  
SPIN-код: 5428-4055*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПОЗНАНИЯ В ЦИФРОВОЙ КОММУНИКАТИВНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ**

Одним из наиболее существенных когнитивных факторов коммуникативно-образовательной цифровой среды является не только активное использование компьютера, но и взаимодействие с ним, представляющее своеобразный диалог, который в интеллектуально-познавательных аспектах облегчает процесс обучения в университете информатики и радиоэлектроники. «При работе с компьютером стремление пользователя получить ответ на свой запрос вынуждает его действовать в соответствии с определенными правилами и стандартами. Иначе диалог “человек – компьютер” не будет эффективным или вообще не сможет реализоваться. При этом к пользователю предъявляются требования как формального, так и содержательного характера. С одной стороны, свобода его действий ограничивается необходимостью проведения вполне определенных манипуляций. А с другой – от пользователя требуются соответствующий уровень знаний, характер мышления, менталитета в целом» [1, с. 166]. Кроме того, наряду с умением работать с компьютером и его приложениями в цифровой среде не менее необходимы точные формулировки и четкая постановка исследуемой проблемы, чем традиционно отличаются математические исследования, что в свою очередь стимулирует развитие мышления в понимании смысла производимых компьютером действий.

В контексте философии математического образования отметим, что обоснование правильности компьютерных вычислений попадает под такие же методологические ограничения, что и результаты о неразрешимости некоторых математических про-

блем, причем обосновывать их тем сложнее, чем эффективней соответствующая компьютерная программа. Тем не менее, использование «кремниевой логики» в цифровой перспективе меняет когнитивную практику математического доказательства. Различные версии доказательства и строгости зависят от множества разных вещей, например, новая нетрадиционная версия строгости – от использования компьютеров в доказательстве. Для некоторых математиков доказательства теорем, осуществленные с использованием сложных компьютерных программ, пока не могут считаться надежными и рассматриваются в качестве направляющих теоретический поиск гипотез.

Решению этой актуальной методической задачи способствует нацеленность на развитие математического мышления, преодолевающего проблемы человеко-машинного взаимодействия. Для анализа компьютерной составляющей в философии математического образования важны исследования эмоций студентов при работе с компьютерами. В психологической литературе, в которой рассматриваются эмоциональные аспекты недовольства техническими сбоями в работе электронного устройства в контексте сочетания целевых факторов и оценки мотивационных способностей и интеллектуальных возможностей, данный феномен даже получил свое название «гнев на компьютер». Психологическая интерпретация происходящего исходит из того, что, с одной стороны, недовольство пользователя машиной – это когнитивная реакция на ситуацию прерывания процесса достижения намеченной цели.

Но, с другой стороны, многое в фундаментальной теоретической науке реализуется на самом деле в компьютерной математике и, сталкиваясь с полученными на компьютере доказательствами, приходится думать над тем, что же имеется ввиду под понятием «доказательства». Сейчас компьютерные науки, по существу, стали направлением прикладной алгебры. «Институт математической экспертизы является очень сложным социальным институтом, и то, в какой степени он воплощает эпистемологические добродетели, предусмотренные “наивной” математической идеологией, является самостоятельным нетривиальным вопросом» [2, с. 27]. Но у компьютера есть «непредумышленный арсенал» способов выведения пользователя из себя. Например, не ре-

агировать на нажатия кнопок, тормозить и виснуть, наконец, просто ломаться, унося с собой всю добытую информацию и даже проведенные сложные вычисления или доказательства, несмотря на системное взаимодействие «человек – компьютер».

Отметим также, что образовательные рассуждения о сути математического познания, которой оперируют математики-исследователи, обычно далеки от таких методологических канонов, как, например, выводить математические утверждения из аксиом и уже доказанных теорем с помощью определенных логических рассуждений. С ними студенты университета знакомятся в процессе изучения высшей математики, но даже в этой науке используются разные уровни строгости. Трудности в соответствии стандартам математической строгости возникают иногда не за счет недостатка аксиом, а из-за ограниченности принятых средств логического вывода или принятых способов обоснования. При чисто логико-формальном подходе число цепочек, составленных из звеньев типа «посылка – вывод», растет с их длиной, по меньшей мере, экспоненциально, тогда как те из них, которые приводят к решению поставленной математической задачи, образуют исчезающе малую долю от этого числа.

В философии образования студентов университета информатики язык математики весьма «коварен», так как у информационных технологий нет особого способа реализоваться на уровне всеобщего понимания, поскольку между восприятием реальности и языком ее отражения через сознание еще стоит мышление. С появлением компьютеров изменились не только математические методы, но и математическое мышление, однако научное мировоззрение в цифровом образовательном пространстве по когнитивно-познавательной сути практически не изменилось. Компьютерные доказательства обозначили принципиально новый этап осмысления роли компьютерного образования и математического моделирования процессов, протекающих в реальном мире. В заключение можно сказать, что «цифровое образовательное пространство уже на данный момент является частью процесса обучения в вузе, при этом его значимость будет постоянно возрастать ввиду государственных интересов, развития и совершенствования цифровых технологий в целом, а также готовности студентов к использованию цифрового образовательного пространства в своей деятель-

ности» [3, с. 1]. В этом проявляется естественная потребность каждого образованного человека ощутить себя носителем мировоззренческой и информационной культуры, передаваемой с помощью разных цифровых устройств, как общего процесса духовного, интеллектуального и эстетического развития.

Не только исследователю, но и впервые изучающему сложный раздел математики, не охватывающему всю математическую картину, присущ «эффект импрессионистов», когда, углубляясь в технику отдельных мазков, изначально виден только их «несвязный хаос», но отойдя на некоторое расстояние, схватывается произведение в целом. Хотя любой рисунок, даже если он предполагает «игру в имитацию», фиксирует востребованную информацию более жестко, чем точные слова, тем не менее, он оставляет пробелы для самостоятельного заполнения их извне. Этот эффект, широко используемый современной компьютерной графикой, основан на том, что качество визуальной информации иногда ничуть не хуже ее метафорически-словесного качества.

Рост математизированного знания, доступного в цифровом образовательном поле компьютеризации, привел к возрастанию роли когнитивной деятельности, которую можно передать компьютеру. Кроме того, в коммуникативно-образовательной среде особенно заметно, как быстро устаревают новые информационно-технологические знания, в то время как математические знания, по сути, со временем обособленно расширяются, что свойственно только универсальным интеллектуально-культурным событиям, имеющим декларируемую когнитивно-философскую перспективу общего образования.

### **Литература**

1. *Девятова С.В., Казарян В.П.* Многомерность проблемы коммуникации в цифровом обществе // Российский гуманитарный журнал. 2020. Т. 9, № 3. С. 165–171.
2. *Хлебалин А.В.* Эпистемологические нормы и социальные практики математического доказательства // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2021. № 60. С. 24–31.
3. *Алехина Н.В., Калугина Е.В.* Цифровое образовательное пространство в современном вузе // Современные проблемы науки и образования. 2023. № 5. С. 1–8.

**Х.З. Ву<sup>1</sup>, М.Л. Жарков<sup>2</sup>, А.Л. Казаков<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Россия*

<sup>2,3</sup>*Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова  
СО РАН, г. Иркутск, Россия*

<sup>2</sup>SPIN-код: 8091-3706, <sup>3</sup>SPIN-код: 8101-9424

## **О МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО МОРСКОГО ПОРТА С ПОМОЩЬЮ СЕТЕЙ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Морские порты являются важнейшими элементами глобальных цепей поставок, определяя эффективность транспортировки товаров и масштабы мировой торговли [1]. Наибольшая часть грузооборота приходится на универсальные (многофункциональные) порты, оснащенные специализированной техникой для работы с разнообразным грузом. Таким образом, исследование работы подобных систем – актуальная научная задача.

Порты обладают сложной структурой, которая включает минимум три подсистемы: грузовой фронт для наземного транспорта, складские площадки и причальная зона с якорной стоянкой. Между ними имеются несколько маршрутов движения грузов. В каждой подсистеме используется различное оборудование, но выполняемые на нем операции, как правило, однотипны: погрузка, разгрузка, транспортировка и хранение. На продолжительность этих операций и на поступление морского транспорта в систему оказывает влияние большое число случайных факторов, в частности, погода. Эффективным математическим аппаратом для моделирования работы технических систем с описанными свойствами считаются сети массового обслуживания (СеМО) [2].

СеМО представляет собой набор конечного числа  $s$  ( $s \in \mathbb{N}, s \geq 2$ ) взаимосвязанных узлов, имеющих вид систем массового обслуживания (СМО), заявки между которыми движутся

по заданным маршрутам [2]. Ранее на основе данного математического аппарата авторами была предложена модель морского контейнерного терминала и изучена его работа в стационарном режиме [3]. Однако в универсальных портах параметры работы оборудования могут меняться, к примеру, при смене типа обрабатываемого груза и/или значительного изменения характеристик прибывающих судов.

Целью исследования является моделирование универсального морского порта при учете изменения параметров работы его причальной зоны. Математическая модель строится на основе нестационарных СеМО, в узлах которых интенсивность обслуживания групп заявок, их размеры и максимальная длина очереди могут меняться со временем.

При моделировании порта поступающие грузопотоки с моря и суши описываются различными неординарными потоками заявок. Работа структурных элементов моделируется узлами СеМО разных типов: склады, автомобильная стоянка и ворота – многоканальными СМО с ограниченной вместимостью очереди; движение грузовиков, перевозящих грузы между подсистемами, – многоканальными СМО с отказами. Работа причальной зоны описывается двумя узлами: разгрузка судна – многоканальной СМО, а погрузка – одноканальной СМО. В них максимальное число мест в очереди меняется динамически и становится равно максимальному размеру прибывающей или отправляемой партии грузов соответственно, параметры которых зависят от типов судна и груза. Во всех узлах допустимо групповое обслуживание заявок, дисциплина обслуживания очереди – FIFO, т. е. в порядке поступления заявок.

Представленный модельный подход был применен для исследования универсального порта Куангнинь. Он является одним из крупнейших грузовых портов в северном регионе Вьетнама и расположен в провинции Куангнинь, которая будет конечной точкой планируемого транспортного коридора Россия – Вьетнам<sup>1</sup>. Порт перегружает пшеницу, древесную щепу, корма для

---

<sup>1</sup> Морские вести России. Инвестиционные проекты развития международных связей России и Вьетнама. URL: <https://morvesti.ru/analitika/1688/86638/> (дата обращения: 10.02.2025).

животных, строительные материалы, руду, металлолом, а также контейнеры. Модель его работы имеет вид СеМО с двумя входящими потоками заявок и 12 узлами (см. рисунок): 1 – якорная стоянка; 2 – причал для разгружаемых барж; 3, 6, 8 – передвижение грузовиков; 4 – автомобильная стоянка; 5 – ворота; 7 – склады; 9, 10, 11 – краны и конвейерные системы; 12 – отправление судна с причала.

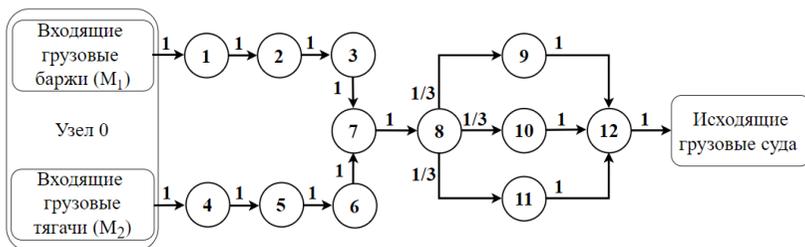


Схема СеМО

Исследование полученной СеМО выполнено численно с помощью имитационного моделирования на основе метода Монте-Карло. По результатам расчетов установлено, что порт имеет запас пропускной способности, причем грузопоток можно увеличить на 40 % без модернизации оборудования. Тем не менее, в порту существует узкое место, им является конвейерная система, производящая загрузку древесной щепы в суда на причале.

### Литература

1. *Понятовский В.В.* Техническая эксплуатация основных элементов порта. М.: РКонсульт, 2004. 334 с.
2. *Ивницкий В.А.* Теория сетей массового обслуживания. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 772 с.
3. *Лемперт А.А., Жарков М.Л., Казаков А.Л., Ву Х.З.* Моделирование морского контейнерного терминала с использованием сети массового обслуживания // Управление большими системами. 2024. № 112. С. 310–337.

**Л.И. Мороз<sup>1</sup>, А.Г. Масловская<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия

<sup>2</sup>Университет Иннополис, г. Иннополис, Россия

<sup>1</sup>SPIN-код: 6169-4129, <sup>2</sup>SPIN-код: 9406-4315

## **ЭВОЛЮЦИЯ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГИСТЕРЕЗИСА: СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ПОДХОДЫ К РЕАЛИЗАЦИИ**

Теория Ландау нашла широкое применение в физике твердого тела, в частности, она используется для описания динамических свойств сегнетоэлектриков, обладающих сложными механическими и электрическими свойствами. Одним из отличительных свойств сегнетоэлектриков является нелинейная зависимость (гистерезис) поляризации от приложенного поля. На сегодняшний день известны различные подходы, к описанию сегнетоэлектрического гистерезиса, в том числе детерминированный, основанный на термодинамической теории Ландау. Уравнение Ландау – Халатникова было впервые описано в 1930-х годах советскими физиками Л.Д. Ландау и И.М. Халатниковым. Это уравнение стало основой для теории фазовых переходов и описания различных свойств сегнетоэлектриков и других материалов с комплексными взаимодействиями между механическими и электрическими полями [1]. Основная идея уравнения заключается в том, что оно связывает термодинамические свойства системы с ее микроскопическими характеристиками, позволяя описывать поведение сегнетоэлектриков в условиях изменения внешних факторов.

В простейшем случае уравнение Ландау – Халатникова представимо в виде [1]

$$\delta \frac{dP}{dt} = f(P) + E(t), \quad (1)$$

где  $\delta$  – кинетический коэффициент, В·м·с/Кл (или м·с/Φ);  $P$  – спонтанная поляризация, Кл/м<sup>2</sup>. В простейшем случае  $f(P) = -AP - BP^3 - CP^5$ ,  $A = A_0(T - T_{CW})$ , м/Φ;  $B$ , м<sup>5</sup>/(Кл<sup>2</sup>·Φ);

$C, \text{ м}^9/(\text{Кл}^4 \cdot \Phi)$  – термодинамические постоянные,  $E(t) = E_0 \sin(\omega t)$  – напряженность электрического поля, В/м;  $\omega$  – радиальная частота, 1/с. Динамическое уравнение (1), дополненное начальным условием  $P|_{t_0=0} = P_0$ , позволяет описать гистерезисную зависимость  $P$  от внешнего поля  $E$ .

Основанное на концепции Гинзбурга расширение уравнения (1), позволяет учитывать пространственные флуктуации и корреляции в системе:

$$\delta \frac{\partial P}{\partial t} = \psi \Delta P + f(P) + E(t), \quad (2)$$

здесь  $\psi$  – положительная термодинамическая постоянная,  $\text{м}^3/\Phi$ .

Для замыкания математической постановки задачи обобщенное уравнение Ландау – Халатникова (2) необходимо дополнить начальным и граничными условиями, например, в од-

номерном случае –  $\left. \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x=0} = \frac{P}{\lambda}, \left. \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x=L} = -\frac{P}{\lambda}$ ,  $\lambda$  – термодинами-

ческий параметр (длина экстраполяции), м.

Кроме того, в литературе представлен квазистационарный вариант уравнения (2):

$$\psi \Delta P + f(P) + E = 0. \quad (3)$$

В [2] отмечено, что и для объемных материалов, и для тонких пленок важен учет динамики процесса: квазистационарная модель уступает в точности. В соответствии с [3] предполагается, что поляризация имеет инерцию (инерция электронов, ионов и электрических диполей), поэтому уравнение (1) требуется дополнить членом кинетической энергии, которая вносит вклад в общую энергию системы. Такое поведение можно предположить в случае медленного изменения приложенного поля

$$\delta \frac{dP}{dt} = -\rho \frac{d^2 P}{dt^2} + f(P) + E(t), \quad (4)$$

где  $\rho$  – эффективная масса плотности состояний и подвижность носителей заряда. Уравнение (4) в литературе известно как уравнение Ландау – Халатникова – Тани. Начальные условия имеют

$$\text{вид: } P|_{t_0=0} = P_0, \quad \left. \frac{dP}{dt} \right|_{t_0=0} = \tilde{P}_0.$$

Учитывая инерцию зарядов и пространственные флуктуации системы, приходим к уравнению вида:

$$\delta \frac{dP}{dt} = -\rho \frac{d^2 P}{dt^2} + \psi \Delta P + f(P) + E(t). \quad (5)$$

Поскольку представленные модели содержат в уравнениях нелинейные слагаемые, то оправданным является применение приближенных методов. Для решения задач на основе уравнений (1) и (4) можно применить метод Рунге-Кутты 4 порядка точности. Для решения (2) и (5) сеточные методы. При использовании прикладных пакетов программирования, например, Matlab, предложенные методы можно реализовать встроенными функциями.

### Литература

1. Рабе К.М., Анна Ч.Г., Трискона Ж.-М. Физика сегнетоэлектриков: современный взгляд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011.
2. Мороз Л.И., Масловская А.Г. Дробно-дифференциальные модели динамических откликов сегнетоэлектриков. М.: Наука, 2022.
3. Richman M.S., Rulis P., Caruso A.N. Ferroelectric system dynamics simulated by a second-order Landau model // J. Appl. Phys. 2017. Vol. 122. P. 094101.
4. Maslovskaya A., Moroz L. Time-fractional Landau-Khalatnikov model applied to numerical simulation of polarization switching in ferroelectrics // Nonlinear Dynamics. 2022. P. 1–23.

**А.М. Ерёмин**

*Бийский технологический институт (филиал)  
Алтайского государственного технического университета  
им. И.И. Ползунова, г. Бийск, Россия  
SPIN-код: 2743-3214*

## **К ВОПРОСУ О ЧИСЛЕННОЙ МИНИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛА СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ МНОГОСЛОЙНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Модель многослойной стохастической системы (МСС) можно с успехом применять для описания характеристик и свойств микрокристаллических магнетиков в рамках теории микромагнетизма [1]. Эта система состоит из слоев одноосного магнетика, связанных обменным взаимодействием, которые различаются по ориентации осей легкого намагничивания (ОЛН).

В данном случае функционал свободной энергии МСС на единицу площади имеет вид:

$$E = \int_a^b \left\{ A(x) \cdot \left( \frac{d\Theta}{dx} \right)^2 + K(x) \times \right. \\ \left. \times \sin^2(\Theta(x) - W(x)) - Ms(x) \cdot H \cdot \cos(\Theta(x) - W_h) \right\} dx$$

Здесь  $E_a = A(x) \cdot \left( \frac{d\Theta}{dx} \right)^2$ ,  $E_k = K(x) \cdot \sin^2(\Theta(x) - W(x))$ ,

$E_h = Ms(x) \cdot H \cdot \cos(\Theta(x) - W_h)$  – объемные парциальные энергии обменного взаимодействия, одноосной анизотропии, намагниченности во внешнем поле.  $A(x)$ ,  $K(x)$ ,  $Ms(x)$  – параметры, характеризующие обмен, намагниченность насыщения, анизотропию.  $W(x)$ ,  $\Theta(x)$ , – углы, определяющие ориентацию ОЛН, магнитных моментов.  $W_h$  – угол приложения внешнего поля, а  $H$  – его величина. Равновесное состояние магнетика соответствует такому распределению намагниченности, задаваемой функцией

$\Theta(x)$ , которое обеспечивает минимум функционала свободной энергии. Для представления функционала (1) в виде суммы в пределе к нему сходящейся использовалась формула девятого порядка точности [2].

Введем обозначение:

$$f(x) = A(x) \cdot \left( \frac{d\Theta}{dx} \right)^2 + K(x) \cdot \sin^2(\Theta(x) - W(x)) - Ms(x) \cdot H \cdot \cos(\Theta(x) - W_h),$$

$$\int_{x_i}^{x_{i+6}} f(x) dx = \frac{h}{140} (41f_i + 216f_{i+1} + 27f_{i+2} + 272f_{i+3} + 27f_{i+4} + 216f_{i+5} + 41f_{i+6}) + O(h^9).$$

Проведем разбивку системы на 6 слоёв:

$$I_1 = \frac{h}{140} (41f_1 + 216f_2 + 27f_3 + 272f_4 + 27f_5 + 216f_6 + 41f_7),$$

$$I_2 = \frac{h}{140} (41f_7 + 216f_8 + 27f_9 + 272f_{10} + 27f_{11} + 216f_{12} + 41f_{13}),$$

$$I_3 = \frac{h}{140} (41f_{13} + 216f_{14} + 27f_{15} + 272f_{16} + 27f_{17} + 216f_{18} + 41f_{19}),$$

$$I_4 = \frac{h}{140} (41f_{19} + 216f_{20} + 27f_{21} + 272f_{22} + 27f_{23} + 216f_{24} + 41f_{25}),$$

$$I_5 = \frac{h}{140} (41f_{25} + 216f_{26} + 27f_{27} + 272f_{28} + 27f_{29} + 216f_{30} + 41f_{31}),$$

$$I_6 = \frac{h}{140} (41f_{31} + 216f_{32} + 27f_{33} + 272f_{34} + 27f_{35} + 216f_{36} + 41f_{37}).$$

Получаем:

$$E = \frac{h}{140} \sum_{i=1}^4 (216f_{6i+2} + 27f_{6i+3} + 272f_{6i+4} + 27f_{6i+5} + 216f_{6i+6} + 82f_{6i+7}) + \frac{h}{140} (41f_1 + 216f_2 + 27f_3 + 272f_4 + 27f_5 + 216f_6 + 82f_7 + 216f_{32} + 27f_{33} + 272f_{34} + 27f_{35} + 216f_{36} + 41f_{37}).$$

Это представление  $E$  соответствует функции, которая определена в 37-ми мерном пространстве обобщенных координат  $\{\Theta_i\}_{37}$ . Минимальное значение полученной функции будет соот-

ветствовать минимуму функционала свободной энергии МСС. Поиск локального минимума функции  $E$  производился с использованием метода градиентного спуска по направлению наискорейшего убывания. Угол приложения внешнего магнитного поля был равен  $W_h = 0$ .

Намагниченность системы вычислялась по формуле:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{37} \text{Cos } \Theta_i}{37},$$

где  $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, \dots, \Theta_{37}$  – это компоненты 37-мерного вектора  $\{\Theta_1; \Theta_2; \Theta_3; \dots; \Theta_{37}\}$ , который обеспечивает минимум функции  $E$ , которая представляет собой энергию магнетика. Вычисляя намагниченность  $M$  для различной величины внешнего поля  $H$  получаем некоторую последовательность точек  $(H, M)$ , Строя эти точки на координатной плоскости и последовательно соединяя их получаем петлю гистерезиса МСС.

### Литература

1. Браун У.Ф. Микромагнетизм: монография. М.: Наука, 1979. 159 с.
2. Ерёмин А.М., Кыров В.А. Компьютерное моделирование намагниченности многослойной стохастической системы методом минимизации функционала свободной энергии // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: материалы XIX Всерос. науч.-техн. конф. Бийск: Алт. гос. техн. ун-т, 2024. С. 20–22.

*Д.Н. Бухаров<sup>1</sup>, Д.А. Пахомов, Н.Ю. Голяков, Д.А. Федорино*  
*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,*  
*г. Владимир, Россия*  
<sup>1</sup>SPIN-код: 9141-6061

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ ГРАФИТИЗАЦИИ В CVD-АЛМАЗЕ**

Модифицированный CVD-алмаз находит успешное применение в качестве чувствительных поверхностей в современных сенсорных устройствах по мониторингу состояния внешней среды: температуры, давления, концентрации газов, радиации [1].

Удобным методом модификации CVD-алмаз и синтеза чувствительных микроструктурированных поверхностей является управляемая лазерная модификация [2].

С использованием лазерного метода, описанного в [2], нашей научной группой были получены образцы таких структур нитевидного и пластинчатого типа (рис. 1).

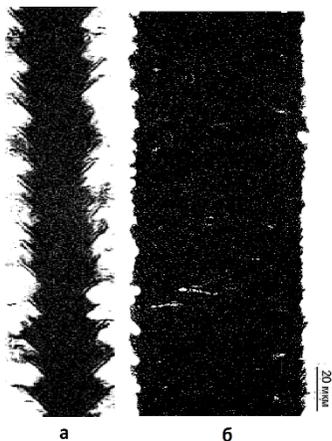


Рис. 1. Образцы х областей графитизации:  
нитевидный (а), пластинчатый (б)

Для описания их геометрических особенностей было проведено моделирование структуры в диффузионном приближении [2; 3]. Модель базировалась на уравнении диффузии, которое решалось на дискретной расчетной области с использованием метода клеточного автомата в рамках окрестности Немана [4], когда ячейка расчетной области на каждой итерации становилась графитизированной с заданной вероятностью (рис. 2).

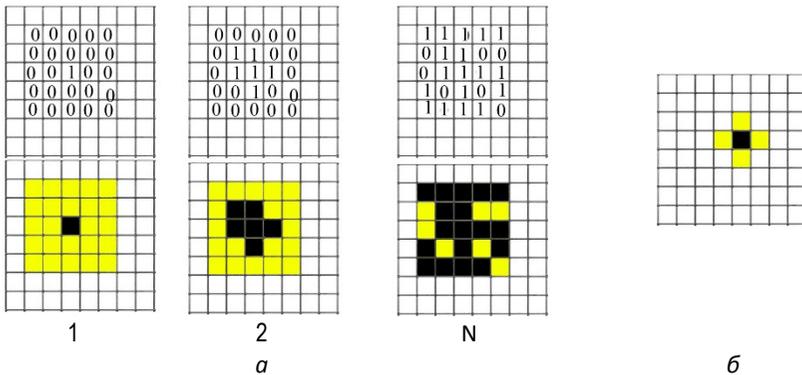


Рис. 2. Схема модели:  
 1-N итерации: маркированная система (сверху)  
 1 – графитизированная ячейка,  
 0 – свободная, соответствующая цветовой маркировка (снизу) (а),  
 окрестность Неймана (б)

Оценка этой вероятности была пропорциональная температуре нагрева и задавала связь парометров модели и схемы синтеза. На рис. 3 приведены модели таких областей, соотносимые с реальными образцами из рис. 2. Адекватность модели оценивалась на основе соотношений фрактальных размерностей, выселенных по методу boxcounting [5]. Разница величин размерностей образца и модели не превосходила 10 %, что свидетельствовало о хорошей адекватности модельного приближения.

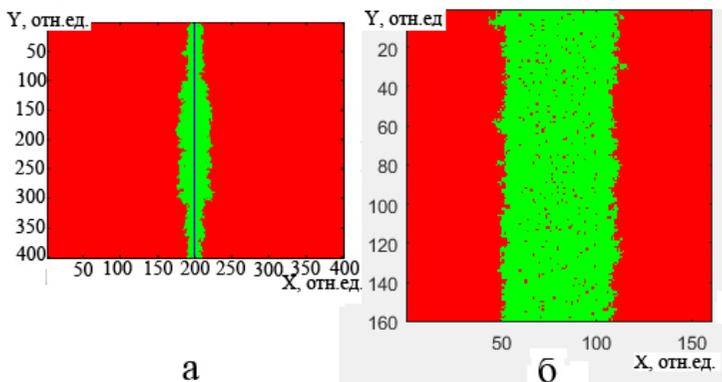


Рис. 3. Результаты моделирования:  
нитевидная область (а), пластинчатая область (б)

Таким образом, предложенное модельное приближение может использоваться для описания геометрических особенностей графитизированных областей в CVD-алмазе.

### Литература

1. Adam W., Berdermann E., Bergonzo P., et al. New developments in CVD diamond for detector applications // Eur Phys J. 2004. Vol. 33. P. 1014–1016.
2. Бухаров Д.Н., Кононенко Т.В., Кучерик А.О. Имитационная феноменологическая модель лазерно-индуцированных графитизированных структур в алмазе // Письма в ЖТФ. 2025. Т. 51, вып. 1. С. 26–29.
3. Евсеев А.А., Нечаева О.И. Клеточно-автоматное моделирование диффузионных процессов на триангуляционных сетках // ПДМ. 2009. № 4. С. 72–83.
4. Zaitsev D.A. A generalized neighborhood for cellular automata // Theoretical Computer Science. 2017. Vol. 666. P. 21–35.
5. Jundong Y., Yuanyuan S., Shanshan C., Xiaopeng H. An Improved Box-Counting Method To Estimate Fractal Dimension Of Images // Journal of Applied Analysis & Computation. 2016. № 6 (4). P. 1114–1125.

***И.В. Гринь<sup>1</sup>, О.А. Морозов<sup>2</sup>***

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
г. Нижний Новгород, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 8419-3920, <sup>2</sup>SPIN-код: 3853-3919

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ОГРАНИЧЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ ГРУППИРОВОК  
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ  
МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА  
РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ**

В настоящее время одним из ведущих направлений развития современной радиосвязи и навигации является переход к пассивным многопозиционным системам, в том числе с использованием искусственных спутников Земли в качестве приемников сигналов. При этом, наиболее распространены схемы, включающие три и более точки приема сигнала неизвестного источника радиоизлучения [1; 2]. Однако на практике часто возникают ситуации, когда один из космических аппаратов недоступен, например, находится вне зоны видимости объекта.

Для однозначного решения задачи оценки координат неизвестного источника радиоизлучения на основе ограниченных спутниковых группировок может быть использовано совместное применение разностно-дальномерного и разностно-доплеровского методов. Данный метод предполагает решение системы нелинейных уравнений, состоящей из уравнений разностно-дальномерного и разностно-доплеровского методов, дополненных уравнением поверхности Земли:

$$\left\{ \begin{array}{l} |\vec{r}_M - \vec{r}_1| - |\vec{r}_M - \vec{r}_2| = c\Delta t_{12}; \\ \frac{(\vec{V}_1, (\vec{r}_M - \vec{r}_1))}{|\vec{r}_M - \vec{r}_1|} - \frac{(\vec{V}_2, (\vec{r}_M - \vec{r}_2))}{|\vec{r}_M - \vec{r}_2|} = \frac{\Delta\omega_{12}}{\omega_1}; \\ c + \frac{(\vec{V}_1, (\vec{r}_M - \vec{r}_1))}{|\vec{r}_M - \vec{r}_1|} \\ \frac{x_M^2 + y_M^2}{a^2} + \frac{z_M^2}{b^2} = 1, \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $\vec{r}_M$  – координаты объекта на модели земной поверхности,  $\vec{V}_i$  – скорость  $i$ -го спутника ( $i = 1, 2$ ),  $\vec{r}_i$  – координаты  $i$ -го спутника,  $\Delta\omega_{12} = \omega_1 - \omega_2$  – взаимный доплеровский сдвиг,  $\omega_1$  – частота сигнала, принимаемого 1-м спутником,  $\Delta t_{12}$  – взаимная временная задержка прихода сигнала от источника в 1-й и 2-й спутники,  $c$  – скорость света),  $a, b$  – большая и малая полуоси эллипсоида.

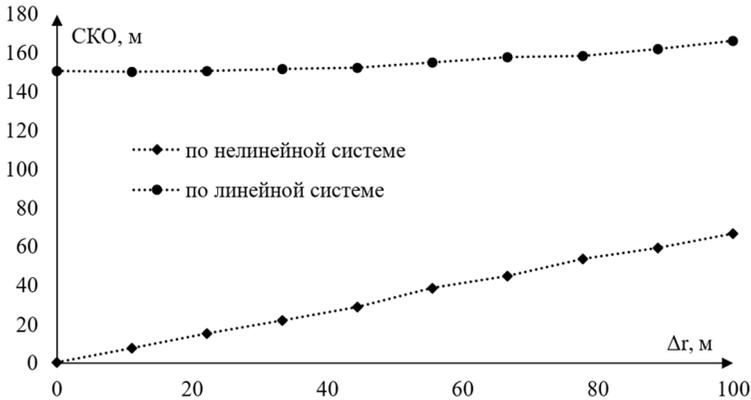
Для ускорения вычислительной процедуры решения системы уравнений (1) в работе предлагается подход, позволяющий привести систему к виду, линейному относительно искомым координат источника. Вводится новый параметр  $s$ , имеющий смысл расстояния от одной из точек приема неизвестного сигнала до его источника:

$$s = \sqrt{(x_M - x_1)^2 + (y_M - y_1)^2 + (z_M - z_1)^2}, \quad (2)$$

и система (1) принимает вид:

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(y_1 - y_2) & 2(z_1 - z_2) \\ \sigma V_{1x} - \gamma V_{2x} & \sigma V_{1y} - \gamma V_{2y} & \sigma V_{1z} - \gamma V_{2z} \\ 2x_1 & 2y_1 & 2z_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_M \\ y_M \\ z_M \end{pmatrix} = \\ \begin{pmatrix} c\Delta t_{12}(c\Delta t_{12} - 2s) + |\vec{r}_1|^2 - |\vec{r}_2|^2 \\ \frac{\Delta\omega_{12}}{\omega_1}c + \sigma(\vec{r}_1, \vec{V}_1) - \gamma(\vec{r}_2, \vec{V}_2) \\ -s^2 + R_3^2 + |\vec{r}_1|^2 \end{pmatrix} \\ \sigma = \frac{1}{s} \left( 1 - \frac{\Delta\omega_{12}}{\omega_1} \right), \gamma = \frac{1}{s - c\Delta t_{12}}. \end{cases} \quad (3)$$

На рисунке приведены зависимости среднеквадратического отклонения (СКО) оценки координат источника радиоизлучения от погрешности определения координат спутников, полученные на основе линейной и нелинейной систем совместного метода.



Зависимости СКО оценки координат ИРИ от погрешности определения координат спутников

Результаты подтверждают возможность применения решения системы (1), приведенной к линейному виду в качестве начального приближения или же в качестве быстрой оценки координат источника радиоизлучения.

## **Литература**

1. *Черняк В.С.* Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь, 1993. 416 с.
2. *Гринь И.В., Ершов Р.А., Морозов О.А.* Определение местоположения источника излучения сверхширокополосных систем связи // Системы управления и информационные технологии. 2015. № 3 (1). С. 18–22.

***О.Г. Антоновская***

*Нижегородский государственный  
архитектурно-строительный университет, г. Нижний Новгород, Россия  
SPIN-код: 6654-5900*

## **ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ С ИМПУЛЬСНЫМ ЧАСТОТНО-ФАЗОВЫМ ДЕТЕКТОРОМ И ИДЕАЛЬНЫМ АСТАТИЧЕСКИМ ФИЛЬТРОМ**

При математическом моделировании динамики дискретных систем фазовой синхронизации сложность математической модели связана, в основном, с размерностью задачи и конструкцией пространства состояний. Так что целесообразность использования того или иного метода ее исследования диктуется соотношением простоты его применения и точностью получающихся результатов.

В основе практически важной прикладной задачи реализации надежной радиосвязи [1] лежит использование управляемых синтезаторов частот, построенных на базе импульсных систем фазовой синхронизации [2]. Математические модели таких систем являются частным случаем систем с переменной структурой [3], когда в условиях постоянства сигнала управления возможно введение в рассмотрение динамического оператора изменения во времени состояния отдельно взятой подсистемы и анализ на этой основе условий перехода от одной подсистемы к другой. Поэтому изучение математических моделей таких синтезаторов частот как правило осуществляется на основе метода точечных отображений [4], что позволяет не только более обоснованно подойти к процессу формирования математических моделей синтезаторов частот, но и расширить возможности качественного исследования их динамики [3; 5].

В настоящем докладе приводятся результаты исследования динамики синтезатора частот с импульсным частотно-фазовым детектором и идеальным астатическим фильтром методом точеч-

ных отображений [3], поскольку этот метод учитывает скачкообразно изменяющийся характер структуры уравнений, описывающих динамику системы. Приведенная математическая модель использует три фазовых подпространства, соответствующих кусочному постоянству сигнала управления. Особое значение придается изучению возможных переходов траектории системы между подпространствами. В докладе показано, что изучение динамики указанного синтезатора частот по методу точечных отображений допускает полное качественное исследование стационарных движений математической модели системы [5], а также получение разбиения пространства параметров системы на области существования движений различной сложности.

### Литература

1. *Шахгильдян В.В., Пестряков А.В.* Перспективные направления развития динамической теории дискретных систем фазовой синхронизации для устройств синтеза и стабилизации частот // *Электросвязь*. 1993. № 11. С. 38–42.
2. *Левин В.А., Малиновский В.Н., Романов С.К.* Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. М.: Радио и связь, 1989. 232 с.
3. *Антоновская О.Г., Горюнов В.И.* Качественный анализ системы синхронизации с импульсным частотно-фазовым управлением // *Вестник Нижегород. ун-та*. 2013. № 1 (1). С. 184–190.
4. *Неймарк Ю.И.* Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1972. 472 с.
5. *Антоновская О.Г., Горюнов В.И.* Анализ формы установившихся процессов в системе синхронизации с импульсным частотно-фазовым управлением при идеальном астатизме фильтра // *Вестник Нижегород. ун-та*. 2013. № 6 (1). С. 173–179.

**Е.П. Волокитин<sup>1</sup>, А.В. Глубоких<sup>2</sup>, В.П. Голубятников<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>Институт Математики им. С.Л. Соболева СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский национальный исследовательский государственный  
университет, г. Новосибирск, Россия

<sup>1</sup>SPIN-код: 4980-9424, <sup>3</sup>SPIN-код: 8809-8343

## УСТОЙЧИВОСТЬ НЕЛОКАЛЬНЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ В ОБОБЩЁННЫХ ПОРОГОВЫХ МОДЕЛЯХ ГЕННЫХ СЕТЕЙ\*

Следуя [1], будем рассматривать поведение траекторий кусочно-линейной динамической системы, моделирующей трёх-компонентную генную сеть

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= L_3(x_3) - x_1; \\ \frac{dx_2}{dt} &= L_3(x_1) - x_2; \\ \frac{dx_3}{dt} &= L_3(x_2) - x_3;\end{aligned}\tag{1}$$

где  $x_j$  – концентрация компоненты номер  $j$ ; убывающая трёхступенчатая функция  $L_3$  описывает отрицательные регуляторные связи:

$$\begin{aligned}L_3(w) &:= 0 \text{ при } c + \varepsilon \leq w < 2c; \\ L_3(w) &:= 2c \text{ при } 0 \leq w < c - \varepsilon; \\ L_3(w) &:= c + \varepsilon \text{ при } c - \varepsilon \leq w < c; \\ L_3(w) &:= c - \varepsilon \text{ при } c \leq w < c + \varepsilon; \quad c > \varepsilon > 0.\end{aligned}\tag{2}$$

Пороговые функции с различными аналитическими представлениями в разных частях области своего определения возник-

---

\* Работа проводилась в рамках Госзаданий ИМ СО РАН FWNF-2022-0009 и FWNF-2022-0005.

кают во многих приложениях, см. [2; 3], где показано, что куб  $Q := [0, 2c] \times [0, 2c] \times [0, 2c]$  является положительно инвариантной областью: траектории всех его точек остаются в этом кубе при  $t \rightarrow \infty$ . Это следует из монотонности функций  $L_3$ , [5]. Все циклы системы (1), (2) содержатся в  $Q$ . Для контроля траекторий системы (1), (2), разобьём  $Q$  плоскостями  $x_j = c - \varepsilon$ ;  $x_j = c$ ;  $x_j = c + \varepsilon$ ;  $j = 1, 2, 3$ , содержащими точки разрыва трёхступенчатых функций в правых частях уравнений (1). Таким образом, куб  $Q$  разбивается на 64 блока. Перенумеруем их мульти-индексами  $\{s_1 s_2 s_3\}$  так, что, если для всех точек блока  $0 \leq x_j < c - \varepsilon$ , то  $s_j := A$ ; если для всех его точек  $c - \varepsilon \leq x_j < c$ , то  $s_j := 0$ ; если для всех точек блока  $c \leq x_j < c + \varepsilon$ , то  $s_j := 1$ , и если для всех его точек  $c + \varepsilon \leq x_j < 2c$ , то  $s_j := B$ . Такие построения проделаны в [4; 7; 8] для динамических систем вида (1) с одноступенчатыми функциями в правых частях их уравнений. Для этих функций правые части уравнений имеют в точности по одной точке разрыва, поэтому в [6; 7] инвариантный трёхмерный куб  $Q$  разбивался плоскостями  $x = c$ ,  $y = c$ ,  $z = c$  на восемь блоков, занумерованных бинарными мульти-индексами  $s_j = 0, 1$ ;  $j = 1, 2, 3$ . Так как функция  $L_3$  монотонна, куб  $Q_0 := [c - \varepsilon, c + \varepsilon] \times [c - \varepsilon, c + \varepsilon] \times [c - \varepsilon, c + \varepsilon]$  является инвариантной областью, где функция  $L_3$  одноступенчатая; поэтому мы нумеруем лежащие в  $Q_0$  блоки бинарными мульти-индексами. У систем вида (1) с одноступенчатыми функциями в правых частях уравнений траектории всех точек блока  $\{001\}$  переходят из блока в блок по стрелкам кольцевой диаграммы

$$\{001\} \rightarrow \{011\} \rightarrow \{010\} \rightarrow \{110\} \rightarrow \{100\} \rightarrow \{101\} \rightarrow \{001\}, \quad (3)$$

куб  $Q_0$  содержит в точности один цикл  $C_0$ ; этот цикл устойчив, и симметричен относительно перестановки переменных  $\sigma: x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow x_3 \rightarrow x_1$ , см. [5; 6].

Обозначим через  $W_0$  объединение блоков, перечисленных в диаграмме (3).

Построим ещё один цикл системы (1), (2), который переходит из блока в блок согласно стрелкам кольцевой диаграммы

$$\begin{aligned} \dots \rightarrow \{BVA\} \rightarrow \{B1A\} \rightarrow \{B0A\} \rightarrow \{BAA\} \rightarrow \{BA0\} \rightarrow \\ \rightarrow \{BA1\} \rightarrow \{BVB\} \rightarrow \{1AB\} \rightarrow \{0AB\} \rightarrow \{AAB\} \rightarrow \\ \rightarrow \{A0B\} \rightarrow \{A1B\} \rightarrow \{ABV\} \rightarrow \{AB1\} \rightarrow \{AB0\} \rightarrow \\ \rightarrow \{ABA\} \rightarrow \{0VA\} \rightarrow \{1VA\} \rightarrow \{BVA\} \rightarrow \dots \end{aligned} \quad (4)$$

Пусть  $W_1$  – объединение блоков, указанных в (4);  $F_2 := \{B1A\} \cap \{B0A\}$  – общая грань соседних блоков в (4),  $F_3 := \{B0A\} \cap \{BAA\}$ ;  $F_4 := \{BAA\} \cap \{BA0\}$ ;  $F_5 := \{BA0\} \cap \{BA1\}$  и т. д. Для произвольной точки  $X_2(x_2, y_2, z_2) \in F_2$ , где  $c + \varepsilon < x_2 < 2c$ ;  $y_2 = c$ ;  $0 < z_2 < c - \varepsilon$ , построим траекторию в блоке  $\{B0A\}$ , где система (1), (2) имеет вид

$$\frac{dx}{dt} = 2c - x; \quad \frac{dy}{dt} = -y;$$

$\frac{dz}{dt} = c + \varepsilon - z$ ; та траектория в блоке  $\{B0A\}$  задана уравнениями

$x = 2c + (x_2 - 2c)e^{-t}$ ;  $y = y_2 e^{-t}$ ;  $z = c + \varepsilon + (z_2 - c - \varepsilon)e^{-t}$ , описывающими в  $\mathbb{R}^3$  прямую линию. Пусть  $X_3 \in F_3$ ,  $X_4 = (x_4, y_4, z_4) \in F_4$  – пересечения той траектории с гранями  $F_3$  и  $F_4$ . Если

$$c \geq 4\varepsilon, \quad (5)$$

то  $X_3, X_4 \in W_1$ . Продолжение траектории точки  $X_2$  в блок  $\{BA0\}$

задаётся уравнениями  $\frac{dx}{dt} = c + \varepsilon - x$ ;  $\frac{dy}{dt} = -y$ ;  $\frac{dz}{dt} = 2c - z$ , траек-

тория точки  $X_4$  при  $t = t_3$ ;  $e^{-t} = \frac{c}{c + \varepsilon}$  попадает на грань

$F_5 := \{BA0\} \cap \{BA1\}$ , где  $z_5 = c$ , в точку  $X_5(x_5, y_5, z_5)$  с координатами

$$x_5 = c + \varepsilon + (x_4 - c - \varepsilon); \quad y_5 = y_4 \cdot \frac{c}{c + \varepsilon}.$$

Будем искать точку  $X_2 \in F_2$ , для которой

$$x_5 = x_2 \text{ и } y_5 = z_2, \quad (6)$$

что сводится к уравнениям, соответственно, гиперболы

$$\left[ x_2 - 2c + \varepsilon - \frac{2\varepsilon^2}{c + \varepsilon} \right] \times [z_2 - c + \varepsilon] = \frac{2\varepsilon^3}{c + \varepsilon} + c\varepsilon - 2\varepsilon^2; \quad (7)$$

и

$$z_2^2 - (2c + \varepsilon)z_2 + c^2 = 0 \quad (8)$$

Уравнение (8) задаёт пару параллельных прямых. Одна из них,  $z_2 = \frac{2c + \varepsilon + \sqrt{4c\varepsilon + \varepsilon^2}}{2} > c - \varepsilon$ , не пересекается с гранью  $F_2$ .

При условии (5) вторая из этих прямых,  $z_2 = \frac{2c + \varepsilon - \sqrt{4c\varepsilon + \varepsilon^2}}{2}$ , пересекается с квадратом  $F_2$ , и внутри него – с гиперболой (7), и эта точка пересечения единственна. Система (1), (2) симметрична относительно перестановки  $\sigma$ , поэтому при условиях (7), (8) после трёх шагов по диаграмме (4) траектория такой точки  $X_5$  попадает на грань  $F_8 := \{1AB\} \cap \{0AB\}$  в точку  $X_8$  с координатами  $x_8 = c$ ;  $y_8 = z_2$ ;  $z_8 = x_2$  и после ещё шести шагов по этой диаграмме – на грань  $F_{14} := \{AB1\} \cap \{AB0\}$  в точку  $X_{14}$  с координатами  $z_{14} = c$ ;  $x_{14} = z_2$ ;  $y_{14} = x_2$ . Значит, при условиях (5), (6) после 18 шагов по стрелкам диаграммы (4)

П:  $F_2 \rightarrow F_3 \rightarrow F_4 \rightarrow F_5 \rightarrow F_6 \rightarrow F_7 \rightarrow F_8 \rightarrow F_9 \rightarrow \rightarrow F_{10} \rightarrow F_{11} \rightarrow F_{12} \rightarrow F_{13} \rightarrow F_{14} \rightarrow \dots \rightarrow F_{17} \rightarrow F_2$  траектория точки  $X_2$  возвращается в  $X_2$ , и является циклом.

**ТЕОРЕМА 1.** Если (5), то динамическая система (1), (2) имеет в  $W_1 \subset Q \setminus Q_0$  единственный цикл  $C_1$  симметричный относительно  $\sigma$ , и переходящий из блока в блок по диаграмме (4).

У систем вида (1), симметричных относительно перестановки  $\sigma$ , нет циклов, несимметричных относительно  $\sigma$ , см. [9]. Сдвиг  $\Pi_{2,5}$  вдоль траекторий системы (1), (2) с грани  $F_2$  на грань

$F_5$  описывается дробно-линейными функциями  $x_5 = \varepsilon + \frac{2c^2}{c + \varepsilon} + (x_2 - 2c) \frac{c}{2c + \varepsilon - z_2}$ ;  $y_5 = \frac{c^2}{2c + \varepsilon - z_2}$ ;  $y_2 = z_5 = c$ . Собственные

числа матрицы Якоби  $J = \frac{\partial(x_5, y_5)}{\partial(x_2, z_2)} = \begin{pmatrix} \frac{c}{2c + \varepsilon - z_2} & \frac{c(x_2 - 2c)}{(2c + \varepsilon - z_2)^2} \\ 0 & \frac{c^2}{(2c + \varepsilon - z_2)^2} \end{pmatrix}$

сдвига  $\Pi_{2,5} : F_2 \rightarrow F_5$  имеют вид  $\lambda_1 = \frac{c}{2c + \varepsilon - z_2}$ ;

$\lambda_2 = \frac{c^2}{(2c + \varepsilon - z_2)^2} = \lambda_1^2$ . На грани  $F_2$  имеем  $0 \leq z_2 < c - \varepsilon$ , значит

$0 < \lambda_2, \lambda_1 < 1$ . Система (1), (2) симметрична относительно  $\sigma$ ;

сдвиги  $\Pi_{2,5} : F_2 \rightarrow F_5$ ,  $\Pi_{5,8} : F_5 \rightarrow F_8$ ,  $\Pi_{8,14} : F_8 \rightarrow F_{14}$  и  $\Pi_{14,2} : F_{14}$

$\rightarrow F_2$  вдоль её траекторий конгруэнтны, и у отображения Пуанкаре  $\Pi$  – у композиции сдвигов  $\Pi_{2,5}$ ,  $\Pi_{5,8}$ ,  $\Pi_{8,14}$  и  $\Pi_{14,2}$ , матрица

Якоби имеет вид  $J^3$ . Если  $Jv = \lambda v$ , то  $J^3v = \lambda^3v$ , и собственные

числа  $\lambda_{\Pi_{1,2}}$  матрицы Якоби  $J^3$  отображения  $\Pi$  имеют вид

$\lambda_{\Pi} = \lambda_1^3$  и  $\lambda_{\Pi_2} = \lambda_2^3$ , также из интервала  $(0,1)$ . В [2; 5; 6] пока-

зано, что если у системы вида (1) собственные числа матрицы Якоби отображения Пуанкаре не кратные, и лежат в интервале

$(0,1)$ , то соответствующий цикл устойчив, и в системе (1), (2) есть бистабильность траекторий, наблюдаемая в численных экспериментах.

**ТЕОРЕМА 2.** При условии (5) цикл  $C_1 \subset Q \setminus Q_0$  системы (1), (2) устойчив.

### Литература

1. Tchuraev R.N., Ratner V.A. A Continuous Approach with Threshold Characteristics for Simulation of Gene Expression. In: Molecular Genetic Information System. Modelling and Simulation. (Editor K. Bellman). Berlin: Verlag, 1983. P. 64–80.
2. Glass L., Pasternack J.S. Stable Oscillations in Mathematical Models of Biological Control Systems // Journal of Mathematical Biology. 1978. Vol. 6. P. 207–223.
3. Жаботинский А.М. Концентрационные автоколебания. М.: Наука 1974.

4. *Minushkina L.S.* Periodic trajectories of nonlinear circular gene networks models // *Siberian Mathematical Journal*. 2024. Vol. 63, № 1. P. 95–103.
5. *Голубятников В.П., Иванов В.В.* Единственность и устойчивость цикла в трёхмерной блочно-линейной кольцевой генной сети // *Сиб. Журнал Чистой и Прикладной Математики*. 2018. Т. 18, № 4. С. 19–28.
6. *Иванов В.В.* Притягивающий предельный цикл модели нечётномерной генной сети // *Сиб. Ж. Индустриальной Математики*. 2022. Т. 16, № 2. С. 25–32.
7. *Golubyatnikov V.P., Minushkina L.S.* On geometric structure of phase portraits of some piecewise linear systems // *Tbilisi Math. J.* 2021. Vol. 49. № 7 special. P. 49–56.
8. *Golubyatnikov V.P., Akinshin A.A., Ayupova N.B., Minushkina L.S.* Stratifications and foliations in phase portraits of gene network models // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022. Vol. 26, № 8. P. 785–764.
9. *Golubyatnikov V.P., Ayupova N.B., Bondarenko N.E., Glubokikh A.V.* Hidden attractors and nonlocal oscillations in gene networks models // *Russian Journal of Numerical Analysis and Mathem. Modeling*. 2024. Vol. 39, № 2. P. 75–81.

***Е.В. Рабинович<sup>1</sup>, А.С. Туркин***

*Новосибирский государственный технический университет,*

*г. Новосибирск, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 7797-3462

## **ЛОКАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ГРАНИЦ ПЛАСТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ**

Технология сейсмической локации [1] обладает рядом теоретических и практических преимуществ по сравнению с известными технологиями построения сейсмических изображений.

Представленный алгоритм реализует оригинальный подход к построению качественных сейсмических изображений [2]. Он использует устойчивые и однозначные решения множества прямых кинематических задач сейсморазведки для решения одной некорректной обратной задачи.

Алгоритм осуществляет локацию источников, обнаруженных на предшествующих этапах работы технологии сейсмических импульсов, отраженных от границ пластов среды, обеспечивая решение множества прямых кинематических задач сейсморазведки.

Задача локации каждого источника сейсмического импульса отражения, расположенного на границе очередного пласта геологической среды, сводится к измерению пространственных координат точки касания линии, описывающей нижнюю отражающую границу пласта, и изохроны отражения. Предполагается, что линия границы такова, что имеет единственную точку касания с одной изохроной. В рамках базовой глубинно-скоростной модели среды изохрона представляет собой эллипс.

Определив координаты точек касания для всех изохрон на интервале наблюдения, получим набор источников сейсмических импульсов отражения. Координаты этих источников использу-

ются для полиномиальной аппроксимации линии очередной отражающей границы. Поочередно полученные линии границ всех пластов образуют изображение глубинно-скоростной модели, привязанной в пространстве к профилю наблюдения.

Для оценки основных кинематических параметров очередного пласта используются решения прямых задач совместно для всех сейсмоприемников системы наблюдения и всех источников возбуждения колебаний. Корректность решений прямых задач обеспечивается оптимизацией хода выбранных лучей от источника до приемника в смысле наименьшего времени их распространения.

Техническим инструментом сейсмической локации является цифровая антенная решетка (сейсморегистрирующая станция).

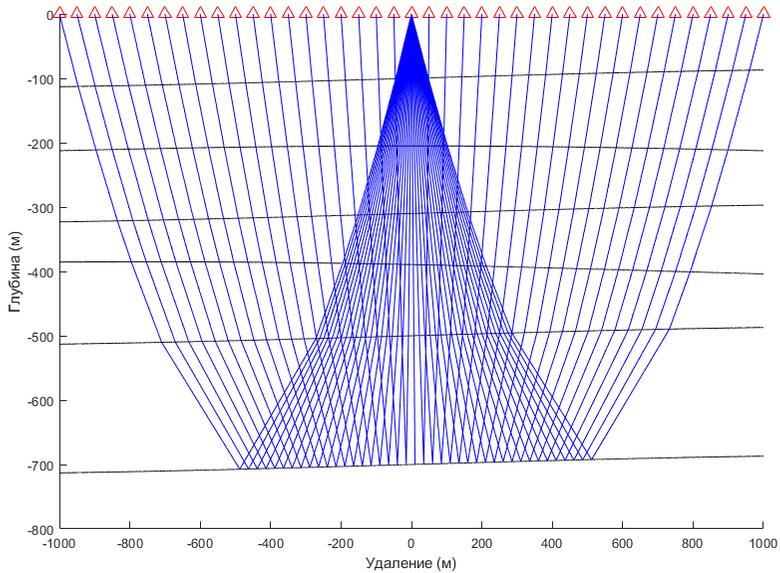
Программное решение задачи локации источника сейсмического импульса отражения в каждом пласте геологической среды обеспечивается за счет механизма сверхразрешения [3]. Этот механизм предназначен для построения и анализа локационного рельефа, который задается на множестве касательных к изохронам, и обеспечения оптимальной локации.

В основе непосредственного измерения координат лежит трехмерная виртуальная сетка локации, формирующая прямые линии, представляющие заданное множество касательных к изохроне. Это множество, в свою очередь, определяет удаление и глубину расположения касательных.

Для уменьшения погрешности измерения координат точек касания в алгоритме используется механизм «дизеринга» (dithering). Механизм заключается в добавлении белого шума в многократные попытки позиционирования центра сетки локации и усреднении результатов.

Точность построения отражающих границ определяется заданными параметрами алгоритма локации и узлов сетки локации.

Изображение глубинно-скоростного разреза модели среды, содержащее траектории всех лучей, представлен на рисунке.



## Литература

1. *Rabinovich E.V., Shefel G.S., Jukov A.V.* Location Technology for Construction of Seismic Images // Proceedings of 14th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering Proceedings APEIE-2018. Novosibirsk, 2018. Vol. 1. Pt. 4. P. 519–523.
2. *Рабинович Е.В.* Технология сейсмической локации. III. Построение глубинно – скоростной сейсмической модели среды // Математические структуры и моделирование. 2023. №2 (66). С. 64–79.
3. *Ратынский М.В.* Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках. М.: Радио и связь, 2003. 200 с.

**А.К. Гуц**

Сочинский государственный университет, г.Сочи, Россия  
SPIN-код: 3792-6510

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КУЛОНОВСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И НЬЮТОНОВСКОЙ ГРАВИТАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ ЗАПУТАННОСТИ

Теория электричества характеризуются следующей известной формулой Кулона для зарядов

$$F = k \frac{|Q||q|}{r^2}. \quad (1)$$

Здесь  $r$  – это расстояние между центрами заряженных тел с зарядами  $Q$  и  $q$ . Считается, что взаимодействие между зарядами передается мгновенно, или с бесконечной скоростью (дальнодействие). С появлением теории относительности устоялась точка зрения, что скорость передачи воздействия конечна и не может превышать скорости света.

Однако, квантовая механика предсказала существование мгновенной передачи воздействия, названного *запутанностью* (сцепленностью, квантовой корреляцией, несиловым воздействием – А.Д. Александров), подтвержденной экспериментально для частиц. Таким образом, появилась возможность объяснить кулоновское взаимодействие между точечными зарядами как квантовую запутанность.

Вместо формулы (1) мы предлагаем формулу

$$F = k \frac{|Q||q|}{\left\| \frac{1}{\sqrt{2}} (|r_Q\rangle \otimes |r_q\rangle - |r_q\rangle \otimes |r_Q\rangle) \right\|^2}, \quad (2)$$

где  $r_Q, r_q$  – радиус-векторы центров зарядов в пространстве, которое рассматриваем как 3-мерное векторное пространство  $V$ ,

тензоры  $r_Q \otimes r_q$ ,  $r_q \otimes r_Q$  – элементы пространства  $V \otimes V$ , в обозначениях квантовой механики записываемые как  $|r_Q\rangle \otimes |r_q\rangle$  и  $|r_q\rangle \otimes |r_Q\rangle$  соответственно. В знаменателе формулы (2) стоит квадрат нормы пространства  $V \otimes V$  неразложимого (запутанного) элемента этого тензорного произведения векторных пространств. Напомним, что общий элемент тензорного произведения  $V_1 \otimes \dots \otimes V_n$  не разложим [1, р. 12]. Фактически, мы считаем запутанными заряженные тела с зарядами  $Q$  и  $q$ . Неразложимость элемента  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|r_Q\rangle \otimes |r_q\rangle - |r_q\rangle \otimes |r_Q\rangle)$  проверяется с помощью критерия из [2, с. 31]. Следовательно, формула (2) сразу постулирует мгновенный способ передачи кулоновского взаимодействия, указывая тем самым на квантовую природу электричества.

Формула (2) – это не что иное, как формула (1). Действительно, возьмем векторы  $r_Q$ ,  $r_q$  так,  $r_Q = (0, 0, 1)$ ,  $|r_Q| = \|r_Q\| = 1$  (эталонный вектор), а  $r_Q$  и вектор  $r = r_q - r_Q$  перпендикулярны. Тогда

$$\sin \angle (r_Q, r_q) = \frac{r}{\|r_q\|}.$$

Вычисляя знаменатель в (2), получаем

$$\begin{aligned} & \left\| \frac{1}{\sqrt{2}} (|r_Q\rangle \otimes |r_q\rangle - |r_q\rangle \otimes |r_Q\rangle) \right\|^2 = \\ & = \frac{1}{2} [ (|r_Q\rangle \otimes |r_q\rangle - |r_Q\rangle \otimes |r_q\rangle, |r_Q\rangle \otimes |r_q\rangle - |r_Q\rangle \otimes |r_q\rangle) ] = \\ & = \frac{1}{2} [ (|r_Q\rangle \otimes |r_q\rangle, |r_Q\rangle \otimes |r_q\rangle) + (|r_q\rangle \otimes |r_Q\rangle, |r_q\rangle \otimes |r_Q\rangle) - \\ & - (|r_Q\rangle \otimes |r_q\rangle, |r_q\rangle \otimes |r_Q\rangle) - (|r_q\rangle \otimes |r_Q\rangle, |r_Q\rangle \otimes |r_q\rangle) ] = \\ & = \frac{1}{2} [ (|r_Q\rangle, |r_Q\rangle)(|r_q\rangle, |r_q\rangle) + (|r_q\rangle, |r_q\rangle)(|r_Q\rangle, |r_Q\rangle) - \\ & - (|r_Q\rangle, |r_q\rangle)(|r_q\rangle, |r_Q\rangle) - (|r_q\rangle, |r_Q\rangle)(|r_Q\rangle, |r_q\rangle) ] = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{2} \left[ 2 \|r_q\rangle\|^2 \|r_Q\rangle\|^2 - 2 \left| \langle r_q | r_Q \rangle \right|^2 \right] = \|r_q\rangle\|^2 - \|r_q\rangle\|^2 \cos^2 \angle(r_Q, r_q) = \\
&= \|r_q\rangle\|^2 \sin^2 \angle(r_Q, r_q) = \|r_q\rangle\|^2 \frac{r^2}{\|r_q\rangle\|^2} = r^2.
\end{aligned}$$

Как видим, знаменатели в (1) и (2) совпадают, что мы и хотели показать.

Предложенная модель распространяется и на теорию гравитация Ньютона, которая характеризуется следующей известной формулой для силы тяготения

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (3)$$

между двумя тяготеющими телами, имеющими соответственно массу  $M$  и  $m$ . Здесь  $r$  – это расстояние между центрами масс этих тел. Вместо формулы (3) мы предлагаем формулу

$$F = G \frac{Mm}{\left\| \frac{1}{\sqrt{2}} (|r_M\rangle \otimes |r_m\rangle - |r_m\rangle \otimes |r_M\rangle) \right\|^2},$$

которая, как было показано выше, совпадает с формулой (3).

### Литература

1. *Viaclovsky J.A.* Introduction to Manifolds and Geometry. URL: [https://www.math.uci.edu/~jviaclov/courses/218BC\\_2022.pdf](https://www.math.uci.edu/~jviaclov/courses/218BC_2022.pdf) (дата обращения: 30.01.2025).
2. *Кронберг Д.А., Ожигов Ю.И., Чернявский А.Ю.* Алгебраический аппарат квантовой информатики. М.: МГУ, Факультет ВМК, 2016.

**А.К. Гуц**

*Сочинский государственный университет, г. Сочи, Россия*  
SPIN-код: 3792-6510

**ПОТОКИ РИЧЧИ  
КАК МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ  
РАБОТЫ ВАРП-ДВИГАТЕЛЯ АЛЬКУБЬЕРРЕ**

В статье [1] было показано, что потоки Риччи, предложенные американским математиком Гамильтоном, т.е. решения дифференциального уравнения

$$\frac{\partial g}{\partial t} = -2 \operatorname{Ric}_g, \quad (1)$$

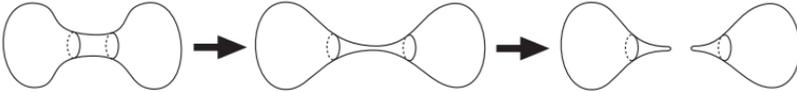
рассматриваемого на 3-мерном римановом многообразии  $(M, g)$ , могут использоваться для детального моделирования полета в космическом пространстве сверхбыстрого корабля Алькубьерре, который с точки зрения земного наблюдателя воспринимается как сверхсветовой.

Изначально, варп-корабль Алькубьерре определялся как корабль, который перед собой сжимал пространство без внесения изменений в топологию пространства, а за собой расширял. Иначе говоря, он существенно укорачивал расстояние до цели. Однако высокие значения энергии [2], реализующие такое движение корабля, радикально меняют топологию, порождая по курсу корабля короткую 4-мерную кротовую нору, нарушающую связность пространства. По сути дела, это тоже сжатие расстояния до цели. Аппарат потоков Риччи с хирургией как раз и описывает такие ситуации.

Известно, что время  $T$  существования решения уравнения (1) крайне мало [3, р. 42] и хотелось бы уточнить, что происходит на этот промежуток времени. Выясняется, во-первых, что при работе варп-двигателя за конечное время  $[0, T)$  происходит образование сингулярностей римановой метрики  $g$  (Гамильтон), в которых

$$\limsup_{x \in M} |Riem(x, t)| = \infty \text{ при } t \rightarrow T,$$

а, во-вторых, выявляется разделение образующихся сингулярностей потоков Риччи на два типа [3, р. 86], один из которых при применении *хирургии* ведет к потере связности многообразия, то есть это полеты корабля с отрывом от пространства за счет положительной энергии [2]:



А второй тип, в случае замкнутого пространства  $M$ , ведет к сжимающейся до точки 3-мерной сфере или к её фактор-пространству. Смысл этого типа неясен.

Образования сингулярности вполне предсказуемо – происходит отрыв варп-пузыря от пространства. Получаются два «куска» – один оставленная гигантская Вселенная, другой – маленький, это то, что является варп-пузырем вне Вселенной.

*Хирургия.* Она состоит в том, что вблизи сингулярного времени, т. е. на отрезке времени  $[T_0, T)$ ,  $T_0 < T$ , когда образовалось узкое горлышко, соединяющее два «куска», мы вырезаем горлышко, вставляем шаровые крышки с некоторой метрикой, которую склеиваем с той, что была на невырезанной части многообразия, и затем перезапускаем поток Риччи для каждого нового полученного компонента, т. е. «куска». Как показал Перельман, этот процесс конечен.

Хирургия есть внешняя *искусственная* процедура. Точнее, Перельман доказал, что требуется только конечное количество хирургических операций в течение любого конечного интервала времени, *когда процедура выполняется правильно* [4]. Другими словами, это действия *экипажа* варп-корабля. Обратим внимание, что неоднократное повторение хирургических операций означает, что в полете от экипажа могут потребоваться действия, подавляющие или устраняющие появление других сингулярностей.

Используя синхронную систему отсчета можно вычислить требуемую энергию для работы варп-двигателя. С учетом наличия потока Риччи и при выборе тензора энергии-импульса в виде

$$T_{\alpha\beta}^{(4)} = \varepsilon u_\alpha u_\beta, \quad u_\alpha = (1, 0, 0, 0),$$

эта энергия равна

$$\varepsilon = \frac{2}{3k} R + \frac{1}{3k\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} \left( \sqrt{g} g^{is} \frac{\partial g_{is}}{\partial t} \right), \quad k = \frac{8\pi G}{c^4}.$$

Правда, требуется еще учитывать компоненты уравнений Эйнштейна  ${}^{(4)}R_0^0$  и  ${}^{(4)}R_i^0 = 0$ , формулы для которых опускаем.

### Литература

1. *Гуц А.К.* Потоки Риччи как инструмент исследования деталей полета свехбыстрого космического корабля // Проблемы современной науки и образования. 2025. №1 (200). С. 4–6. DOI 10.24411/2304-2338-2025-10101.
2. *Гуц А.К.* Энергия, необходимая для порождения варп-двигателем кротовых нор // 18-я Российская гравитационная конференция – Международная конференция по гравитации, космологии и астрофизике «RusGrav-18»: тезисы докладов. Казань: Изд-во КФУ, 2024. 122 с. С. 73–75.
3. *Sheridan N.* Hamilton's Ricci Flow. The University of Melbourne. Honours Thesis, 2006.
4. *Perelman G.* Ricci flow with surgery on three-manifolds. URL: [http://arXiv.org/math.DG/0303109v1\(2003\)](http://arXiv.org/math.DG/0303109v1(2003)).

**Ц.Л. Володченков, А.К. Гуц<sup>1</sup>**

*Сочинский государственный университет, г. Сочи, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 3792-6510

## **ТЕОРЕТИКО-КАТАСТРОФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ $X_{1,0}$ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЧВУ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

В статье [1] был предложено использовать математическую теорию катастроф для моделирования равновесных состояний плодородия почвы, основываясь на бонитировочной шкале, состоящей из критериев, характеризующих уровень плодородия почв в конкретных почвенно-климатических условиях. В докладе мы рассматриваем Калининградскую область.

Известно [2], что для бонитировки почв в этой области основными критериями являются: 1) содержание гумуса (в %), 2) рНКСl, 3) степень оглеения, 4) содержание фосфора, 5) гидролитическая кислотность, 6) сумма поглощенных оснований, 7) гранулометрический состав, 8) степень насыщенности основаниями (в %).

Нас интересует равновесное состояние почвы, которое в значительной мере зависит от степени антропогенного воздействия  $a$  на неё.

Предлагается теоретико-катастрофическая модель  $X_{1,0}$  с семью параметрами  $(u_1, \dots, u_7)$ , упомянутыми выше (после гумуса), а сам гумус описываем переменной  $y(t)$ . Переменная  $x(t)$  – это показатель плодородия в момент времени  $t$ .

Наша модель представляет собой следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -[4x^3 + 2axy^2 + u_1 + 2u_3x + u_4y + 2u_6xy + u_7y^2] \\ \frac{dy}{dt} = -[2ax^2y + 2y + u_2 + u_4x + 2u_5y + u_6x^2 + 2u_7xy] \\ \frac{db}{dt} = y\left(1 - \frac{b}{K}\right) - wba, \end{cases}$$

где  $b(t)$  – биомасса растительности,  $w$  – скорость истощения биомассы (или вода),  $K = const > 0$ .

В случае стационарного равновесия, которое ассоциируется со стабильностью в земледелии, т. е. при  $x, y = const$ , из уравнений системы получаем оценку антропогенного фактора  $a$ , обеспечивающего желанную стабильность:

$$a = -\frac{1}{2xy^2} [4x^3 + u_1 + 2u_3x + u_4y + 2u_6xy + u_7y^2], \quad (1)$$

$$a = -\frac{1}{2x^2y} [2y + u_2 + u_4x + 2u_5y + u_6x^2 + 2u_7xy]. \quad (2)$$

Уравнения (1), (2) позволяют нам, зная значения  $x, y, u_1, \dots, u_7$  на интересующий момент времени  $t$ , вычислить значения величины  $a_1, a_2$  соответственно. Если они равны, то мы нашли оценку антропогенного фактора обеспечивающего равновесие. Но если  $a_1 \neq a_2$ , то каждое из них обеспечивает равновесие соответственно плодородия и содержание гумуса, и заинтересованное лицо должно принимать решение, что для него важнее. Впрочем, можно, меняя, скажем параметры  $u_1, u_2$ , добиться выполнения равенства  $a_1 = a_2$ . Например, за счет внесения удобрений увеличивают содержание фосфора и пр.

Отметим, что катастрофический непростой росток  $X_{1,0}$  предполагает, что  $a > -2$ ,  $a \neq 2$  [3; 4]. Следовательно, именно таковыми должны быть значения величины  $a$ , если их вычислять с помощью формул (1) и (2). Модель  $X_{1,0}$  задается *типичным* ростком  $x^2 + ax^2y^2 + y^2$  [5]. Иначе говоря, она с необходимостью описывает явления с *семью управляющими параметрами* и одним *модулем*  $a$ . Важно отметить, что модуль  $a$  никак нельзя

убрать, изменяя так или иначе переменные нашей модели [5, с. 38, 88]. Понятно, что именно поэтому мы взяли его в качестве переменной, отвечающей человеческому воздействию на почву, ведь человеческий фактор неустраним.

Предложенная модель носит пока чисто теоретический характер. Для практического её применения надо выяснить, какой из параметров  $u_1, \dots, u_7$  какому из критериев для бонитировки почв отвечает. А это само по себе является непростой задачей, не говоря уже о выборе шкал численных значений параметров  $u_1, \dots, u_7$  так, чтобы получаемые значения переменных  $x$  и  $y$  соответствовали вычисленным почвоведом бонитировочным баллам. (Для этого делаем замены  $u_i \rightarrow c_i u_i$  и подбираем нужные численные значения констант  $c_i$ ).

### Литература

1. Гуц А.К. Моделирование стационарных равновесных состояний почвы и их катастрофические изменения под влиянием антропогенных нагрузок // Математические структуры и моделирование. 2023. № 2 (66). С. 15–37.
2. Иванова М.А., Троян Т.Н. Оценка почв и их бонитировка для целей сортоиспытания // Вестник молодежной науки. 2025. № 4 (46). С. 1–7.
3. Павлов С.В. Описание феноменологических моделей фазовых переходов методами теории катастроф // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физика. Астрономия. 1990. Т. 31, № 1. С. 70–76.
4. Васильев В.А. Асимптотика экспоненциальных интегралов, диаграмма Ньютона и классификация точек минимума // Функц. анализ и его прил. 1977. Т. 11, вып. 3. С. 1–11.
5. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. Т. 1. М.: Мир. 350 с.

***И.А. Панкратов***<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия*

<sup>2</sup>*Институт проблем точной механики и управления РАН,*

*г. Саратов, Россия*

SPIN-код: 7710-2400

## **О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ К РАСЧЁТУ НАИСКОРЕЙШИХ ПЕРЕЛЁТОВ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

В работе исследуется задача оптимальной переориентации эллиптической орбиты космического аппарата (КА) под действием ограниченного по модулю реактивного ускорения, ортогонального её плоскости. При этом во всё время управляемого движения орбита КА поворачивается в пространстве как недеформируемая фигура. Движение центра масс КА в ньютоновском гравитационном поле описывается кватернионным дифференциальным уравнением ориентации орбитальной системы координат [1; 2]. Необходимо минимизировать время окончания управляемого процесса. Известно, что в рассматриваемом случае оптимальное управление, найденное из условия максимума функции Гамильтона-Понтрягина [3], имеет релейный вид.

В этой задаче отсутствуют формулы для нахождения неизвестных начальных значений сопряжённых переменных. Также имеет место плохая сходимость начальных приближений для значений сопряжённых переменных к тем значениям, которые доставляют нули функциям невязок. В задаче присутствуют многочисленные локальные минимумы невязок, где итерационные методы [4, 5] не дают хороших результатов (см. работы [6; 7]). В работе предложено искать длительности участков активного движения КА с помощью метода дифференциальной эволюции [8]. Так как орбита КА в общем случае является эллиптической, то вместо использования аналитического решения фазового кватер-

нионного уравнения ориентации круговой орбиты КА [9–11] кватернион ориентации орбитальной системы координат в конечный момент времени был найден численно. Рассмотрен случай, когда количество активных участков движения является заданным, а их длительности заранее не известны. Таким образом, длина хромосомы является постоянной, как в работах [12–14]. Построенный алгоритм необходимо применять неоднократно для разных начальных популяций. Из полученных решений нужно выбрать то, которое соответствует переориентации орбиты КА за меньшее время.

Приведены примеры численного решения задачи. Рассмотрен случай, когда отличие между начальной и конечной ориентациями орбиты КА по долготе восходящего узла, наклону, угловому расстоянию перицентра от узла составляет единицы (или десятки) градусов в угловой мере. При этом конечная ориентация орбиты КА соответствует ориентации орбиты одного из спутников отечественной орбитальной группировки ГЛОНАСС. Помимо круговой орбиты рассмотрены ряд эллиптических орбит КА. Построены графики изменения компонент кватерниона ориентации орбитальной системы координат, оптимального управления, долготы восходящего узла и наклона орбиты. Установлены особенности и закономерности процесса оптимальной переориентации орбиты КА в зависимости от величины её эксцентриситета и количества участков активного движения КА.

### Литература

1. *Челноков Ю.Н.* Применение кватернионов в задачах оптимального управления движением центра масс космического аппарата в ньютоновском гравитационном поле. I // *Космические исследования*. 2001. Т. 39, вып 5. С. 502–517.
2. *Панкратов И.А.* Расчёт наискорейших перелётов космического аппарата между круговыми орбитами // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика*. 2017. Т. 17, вып. 3. С. 344–352.
3. *Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф.* Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1983. 393 с.
4. *Моисеев Н.Н.* Численные методы в теории оптимальных систем. М.: Наука, 1971. 424 с.

5. *Гасников А.В.* Современные численные методы оптимизации. Метод универсального градиентного спуска. М.: МЦНМО, 2021. 272 с.
6. *Панкратов И.А., Сапунков Я.Г., Челноков Ю.Н.* Численное исследование задачи переориентации орбиты космического аппарата с использованием орбитальной системы координат // Математика. Механика. 2012. № 14. С. 132–136.
7. *Панкратов И.А., Сапунков Я.Г., Челноков Ю.Н.* Решение задачи оптимальной переориентации орбиты космического аппарата с использованием кватернионных уравнений ориентации орбитальной системы координат // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2013. Т. 13, вып. 1, ч. 1. С. 84–92.
8. *Price K., Storn R.M., Lampinen J.A.* Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization (Natural Computing Series). Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2005. 539 p.
9. *Панкратов И.А., Челноков Ю.Н.* Аналитическое решение дифференциальных уравнений ориентации круговой орбиты космического аппарата // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2011. Т. 11, вып. 1. С. 84–89.
10. *Панкратов И.А.* Аналитическое решение уравнений ориентации околокруговой орбиты космического аппарата // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2015. Т. 15, вып. 1. С. 97–105.
11. *Панкратов И.А.* О перенормировке приближённого решения уравнений ориентации орбитальной системы координат // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2024. Т. 24, вып. 3. С. 415–422.
12. *Панкратов И.А.* Расчёт наискорейших перелётов космического аппарата между круговыми орбитами // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2017. Т. 17, вып. 3. С. 344–352.
13. *Pankratov I.A.* Quasi-optimal quaternion genetic algorithm for reorientation of the spacecraft orbit // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Vol. 7. № 8. P. 9–13.
14. *Pankratov I.A.* Genetic algorithm of energy consumption optimization for reorientation of the spacecraft orbital plane // Mechatronics, automation, control. 2022. Vol. 23. № 5. P. 256–262.

**М.Ж. Сайфулин**

*Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ВВОДА ПРОБ ПРИ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Проблема повышения качества хроматографических измерений может быть решена за счет корреляционной обработки хроматографических данных. При этом на вход хроматографа подается последовательность проб  $x(t)$ , а обработка хроматографических данных связана с вычислением оценок автокорреляционной функции  $R_{xx}(\tau)$  входного и взаимно-корреляционной функции  $R_{xy}(\tau)$  входного и выходного мультиплексного сигнала  $y(t)$ , на основе которых получают усредненную на множестве вводов проб хроматограмму.

В дискретном виде оценка усредненной хроматограммы  $\hat{G}$  представляется в виде:

$$\hat{G} = (X^T X)^{-1} X^T Y,$$

где  $Y$  – вектор отсчетов мультиплексного сигнала;  $X$  – матрица, сформированная из отсчетов входной последовательности проб; матрица  $C = X^T X$  – информационная матрица плана эксперимента.

Дисперсии  $\sigma_{\hat{g}_j}^2$  оценок  $\hat{g}_j, j = 0, 1, 2, \dots, m$  вектора  $\hat{G}$  будут определяться соотношением [1]:

$$\sigma_{\hat{g}_j}^2 = \sigma_n^2 c_{jj}^{-1}$$

где  $c_{jj}^{-1}$  – элементы обратной матрицы  $C^{-1}$ ,  $\sigma_n^2$  – дисперсия помехи.

Произведено имитационное моделирование работы портативного газового хроматографа с автоматическим пробоотборником. Для формирования многократного ввода проб образца применялись регулярные и псевдослучайные последовательности (в том числе с модифицированным алфавитом [2]). При недостаточно высоком быстродействии пробоотборника, для синхронизации дискретных отсчетов мультиплексной хроматограммы и моментов ввода пробы необходимо использовать разреженные входные последовательности.

Пусть интервал между вводами проб кратен интервалу дискретизации хроматограммы  $\Delta$  и равен  $(b\Delta)$ , где  $b$  – коэффициент разрежения. Тогда можно считать, что после каждого элемента некоторой исходной последовательности размещается  $b$  нулевых элементов. Например, для исходной последовательности Лежандра длительностью  $L_{ucx} = 23 : 1^5 0101^2 0^2 1^2 0^2 1010^4$ , разреженная последовательность при  $b = 1$  будет иметь вид:  $1010101010^3 10^3 1010^5 1010^5 10^3 10^9$ . Здесь степени показывают количество следующих подряд единичных или нулевых значений. При этом длина разреженной входной последовательности  $L = L_{ucx} (b + 1)$ .

Дисперсии оценок значений усредненной хроматограммы  $\sigma_{g_j}^2, j = 0, 1, 2, \dots, m$  зависят не только от дисперсии помехи  $\sigma_n^2$ , но и от вида выбранных последовательностей вводов проб. Выбор оптимальной входной последовательности ввода проб может быть произведен из условия  $D$  – оптимальности, что обеспечивает минимум обобщенной дисперсии всех оценок усредненной хроматограммы [3].

Методика проведения имитационного эксперимента заключается в моделировании заданной аппаратной функции хроматографа, моделировании хроматографического сигнала при однократном и многократном вводе проб с наложенной помехой фиксированной интенсивности, генерировании входных последовательностей ввода проб с различными свойствами (регулярный ввод, псевдослучайный, псевдослучайный с модифицированным алфавитом, псевдослучайный с разреженными элементами), вычислении усредненной хроматограммы и её сопоставление с заданной аппаратной функцией.

Результаты моделирования подтвердили эффективность корреляционной обработки для усреднения хроматограмм, возможность использования в ней рассмотренных входных последовательностей, правильность алгоритмов расчета оценок ординат хроматографической кривой при разных вариантах ввода проб.

### **Литература**

1. *Мелас В.Б., Шпилев П.В.* Планирование и анализ регрессионных моделей: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского гос. ун-та, 2014. 94 с.
2. *Сайфулин М.Ж.* Моделирование псевдослучайных последовательностей Лежандра с ассиметричным алфавитом // Материалы XII Всероссийской научной конференции с международным участием «Математическое моделирование и краевые задачи». Т. 2. Самара: СамГТУ, 2024. С. 104–106.
3. *Маслов Г.Г., Трубилин Е.И., Цибульский Ц.В.* Моделирование в агроинженерии. Краснодар: КубГУ, 2019. 304 с.

**Н.П. Лазарев**

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,  
г. Якутск, Россия  
SPIN-код: 6439-3773*

## **ЗАДАЧА О КОНТАКТЕ УПРУГОЙ ПЛАСТИНЫ ТИМОШЕНКО, СОДЕРЖАЩЕЙ ОТСЛОИВШЕЕСЯ ТОНКОЕ ЖЕСТКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ\***

Предлагается новая математическая модель, описывающая контакт пластины модели Тимошенко с недеформируемым наклонным препятствием, ограничивающим пластину с боковой части. При этом считается, что пластина содержит тонкое жесткое включение, которое описывается цилиндрической поверхностью и выходит на внешнюю боковую границу. Предполагается, что включение частично отслаивается вблизи границы, при этом та часть, которая отслаивается, может контактировать с препятствием. Условия непроникания записываются в виде граничных условий как на части внешней границы, так и в виде неравенства, выполненного в одной точке – это соответствует условию для крайнего волокна включения. Сформулирована задача минимизации функционала энергии над множеством допустимых функций. Доказано, что задача имеет единственное решение в подходящем классе функций Соболева. Относительно математических моделей о деформировании упругих пластин без отслоившегося включения вариационные задачи с условием непроникания для наклонного препятствия изучены, например, в [1; 2].

### **Литература**

1. *Kovtunen V.A., Lazarev N.P. Variational inequality for a Timoshenko plate contacting at the boundary with an inclined obstacle // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2024. Vol. 382, № 2277. Art.: 20230298.*

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания (проект № FSRG-2023-0025).

2. *Лазарев Н.П., Семенова Г.М., Никулин А.С.* Задача о равновесии пластины Кирхгофа – Лява, контактирующей с препятствием, имеющим угловую форму // Математические заметки СВФУ. 2024. Т. 31, № 2. С. 14–30.

**Н.А. Николаева**

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,  
г. Якутск, Россия  
SPIN-код: 8216-8724*

## **О СОПРЯЖЕНИИ ТОНКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ТИМОШЕНКО В УПРУГИХ ТЕЛАХ\***

Рассматривается задача равновесия двумерного упругого тела с трещиной и с тонким упругим включением. Упругое включение моделируется балкой Тимошенко. На берегах трещины задаются краевые условия взаимного непроникания берегов [1]. Предполагается, что трещина точкой пересечения делит включение на две части. Таким образом, возникает контакт частей включения в одной точке. Указанная точка является точкой сопряжения. В этом случае, исходя из геометрии расположения трещины и включения, условие непроникания учитывается и в точке сопряжения [2; 3]. Наличие данного краевого условия исключает взаимное проникание частей включения друг в друга и является естественным с точки зрения механики. Целью данной работы является доказательство однозначной разрешимости поставленной задачи и отыскание краевых условий в точке сопряжения для дифференциальной постановки.

### **Литература**

1. Хлуднев А.М. Задачи теории упругости в негладких областях. М.: Физматлит, 2010.
2. Николаева Н.А. О равновесии упругих тел с трещинами, пересекающими тонкие включения // Сиб. журн. индустр. математики. 2019. Т. 22, № 4. С. 68–80.
3. Николаева Н.А. Задача о равновесии упругого тела с трещиной и тонкими включениями, которые сопряжены между собой // Дальневосточный математический журнал. 2024. Т. 24, № 1. С. 73–95.

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект FSRG-2023-0025).

**Ю.В. Зинченко**

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*  
SPIN-код: 6483-3465

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕОСЦИЛЛИРУЮЩИХ ОБВОДОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

В современном автоматизированном конструировании поверхностей сложных изделий, например, аэродинамические поверхности летательных аппаратов или лопаток газодинамических турбин, важную роль играет процесс создания их математической модели.

Геометрические свойства сложных поверхностей изделия зависят от свойств составных плоских кривых-обводов. В зависимости от требований, предъявляемых к кривым и поверхностям, конструируют обводы различного порядка гладкости. Поэтому конструирование неосциллирующих обводов высокого порядка гладкости с заданными свойствами является важной научно-технической задачей.

Актуальной задачей является создание современного геометрического метода для получения многовариантных, аналитически описанных неосциллирующих обводов по заранее заданным геометрическим и дифференциальным условиям [1].

В процессе конструирования линий каркаса поверхностей технических изделий, удовлетворяющих заданным условиям, а именно, дифференциально-геометрического, технологического, функционального и эстетического характера, необходимо совмещать широко распространенные инженерные способы и возможности исследования свойств кривых, присущие классическим математическим методам теории поверхностей.

На основе использования выпуклых функций, решения систем квадратичных форм и их исследования были получены аналитические выражения для интерполирующей функции, учиты-

вающей возможность управления формой неосциллирующих кривых-обводов на заданном участке поверхности.

Для выделения области существования действительных решений квадратичные формы классифицировались с помощью теории инвариантов, как поверхности квадрик. Для порядка  $n = 3$  данные квадрики будут пятимерные. С геометрической точки зрения, система уравнений разрешима, если все квадрики имеют общие точки пересечения. В случае  $n = 2$  задача становится трехмерной [2]. При переходе к многомерным пространствам наглядность частично теряется, но теория этих пространств сохраняет геометрический характер, так как ее основные понятия строятся на основе трехмерного случая и надлежащего обобщения на многомерный.

Из условий существования действительных квадрик определялись зависимости, дающие возможность проектировщику определять корректность заданных исходных данных. Использование этих зависимостей в практике проектирования технических обводов позволяет на предварительных этапах выявлять ошибки в исходных дифференциально-геометрических данных.

Проведенные исследования позволили создать алгоритмы определения неизвестных коэффициентов интерполирующей функции. На его базе был разработан пакет прикладных программ, обеспечивающий решение задач интерполирования выпуклой кривой и позволяющий решать многовариантные оптимизационные задачи выбора наилучших технических решений.

Разработанный метод дает возможность производить компьютерное моделирование технических поверхностей на экране дисплея и решать задачи оптимизации по критерию наиболее плавного изменения графика вторых производных интерполирующей функции. Из нескольких аналитически описанных кривых, с одинаковыми дифференциально-геометрическими ограничениями в узлах заданного обвода, проектировщик в интерактивном режиме выбирает ту, которая имеет наиболее монотонное изменение графика вторых производных и в наибольшей степени удовлетворяет условиям функционального и эстетического характера.

## **Литература**

1. *Зинченко Ю.В.* Компьютерное геометрическое моделирование неосциллирующих обводов технических поверхностей // Высокие техно-

логии, фундаментальные исследования, финансы: сборник статей Шестнадцатой международной науч.-практ. конф. «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике». 5–6 декабря 2013 года, Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2013. 284 с.

2. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1984. 720 с.

**Я.А. Серёгина***Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*  
SPIN-код: 5692-4892

## РАСЧЁТ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СЕТЕЙ: СРАВНЕНИЕ МЕТОДА КОНТУРНЫХ РАСХОДОВ С МЕТОДОМ ИТЕРАЦИЙ С ИНЕРЦИЕЙ

Одной из важнейших проблем в теории гидравлических систем является задача определения потоков на участках сети. Основная сложность, которой обусловлена, во-первых, большой размерностью гидравлических сетей, а во-вторых, нелинейным характером соответствующих систем алгебраических уравнений, которые не могут быть решены аналитически и требуют привлечения особых методов. Для определения потоков жидкости на участках гидравлической сети в данной работе предлагается использовать два метода – метод итерации с инерцией и методом контурных расходов (МКР). Основная цель доклада продемонстрировать некоторые особенности работы первого метода и сравнить его со вторым.

Основным объектом исследования является система уравнений гидравлической сети (имеющая единственное точное решение [1]) на неизвестный вектор расходов  $\mathbf{x}$  [2]:

$$A\mathbf{x} = \mathbf{0}, \quad BSX(|\mathbf{x}|)\mathbf{x} = B\mathbf{H} \quad (1)$$

Одним из наиболее популярных способов решения задачи определения неизвестных потоков в гидравлической сети является метод контурных расходов (МКР). Тогда, вместо системы уравнений (1) рассмотрим несколько иную нелинейную систему алгебраических уравнений  $A\mathbf{x} = \mathbf{0}, \quad BSX(\mathbf{x})\mathbf{x} = B\mathbf{H}$ . Основное отличие которой от системы (1) – отсутствие модуля в аргументе матрицы  $X$ . Решение последней системы уравнений предлагается искать путём последовательных приближений

$$\mathbf{x}^{(N+1)} = \mathbf{x}^{(N)} + \Delta \mathbf{x}^{(N+1)}, \text{ решение которой можно представить в виде}$$

$$\Delta \mathbf{x}^{(N+1)} = -\frac{1}{2} \mathbf{B}^T \left( \mathbf{B} \mathbf{S} \mathbf{X} \left( \mathbf{x}^{(N)} \right) \mathbf{B}^T \right)^{-1} \delta^{(N)} [2].$$

Однако в работе [1] отмечается, что применение МКР к реальным гидравлическим сетям с большим числом участков ( $n \gtrsim 10^3$ ) затруднено из-за необходимости выбирать начальное приближение настолько близко к точному решению, что задача поиска последнего теряет всякий смысл. В следствие чего для решения (1) был рассмотрен *метод итераций с инерцией* [1; 3; 4]. Для обеспечения сходимости итерационной последовательности Р.Т. Файзуллин предложил вместо вектора  $\mathbf{x}^{(N)}$  брать взвешенное среднее векторов  $\mathbf{x}^{(N)}$  и  $\mathbf{x}^{(N-1)}$  [1]:  $\bar{\mathbf{x}}^{(N)} = \alpha \mathbf{x}^{(N)} + (1-\alpha) \mathbf{x}^{(N-1)}$ . Здесь  $\alpha$  – *весовой коэффициент*, удовлетворяющий неравенству  $0 < \alpha < 1$ . С учётом этого итерационная процедура выглядит следующим образом:  $\mathbf{x}^{(N+1)} = \mathbf{B}^T \left[ \mathbf{B} \mathbf{S} \mathbf{X} \left( \left| \alpha \mathbf{x}^{(N)} + (1-\alpha) \mathbf{x}^{(N-1)} \right| \right) \mathbf{B}^T \right]^{-1} \mathbf{B} \mathbf{H}$ .

Представленный подход можно рассматривать как модификацию метода простой итерации, где на каждом последующем шаге происходит усреднение полученных ранее приближений.

В докладе мы проиллюстрируем пример, который наглядно описывает достоинства и недостатки каждого метода. Убедимся в том, что, применяя МКР и заменяя систему (1) на аналогичную, мы приходим к некорректной задаче, допускающей несколько различных решений. В рамках данной работы начальный вектор  $\mathbf{x}_c^{(0)}$  [2], в обоих случаях, предлагается задавать в полярных координатах:  $\mathbf{x}_c^{(0)} = (\rho \cos \varphi, \rho \sin \varphi)$ , таким образом исследуется влияния полярных координат на конечный результат. Как показали численные эксперименты, предел итерационной последовательности МКР не зависит от величины полярного радиуса  $\rho$ , выбор же полярного угла  $\varphi$  существенно определяет к какому из решений будет стремиться итерационная последовательность МКР. Решая эту же задачу методом итераций с инерцией, начальное приближение будем задавать в виде  $\mathbf{x}_c^{(0)}$  и  $\mathbf{x}_c^{(1)} = 0,5 \mathbf{x}_c^{(0)}$ . Численные эксперименты в этом случае показывают, что предел итерацион-

ной последовательности *не зависит* от выбора начального приближения, ни от величины  $\rho$ , ни от угла  $\varphi$ . Таким образом, нам нет нужды заботиться о выборе начального приближения.

На основе проведения ряда численных экспериментов было выявлено, что для достижения одной и той же точности итерационная последовательность МКР сходится к решению быстрее нежели последовательность, построенная вторым подходом. С другой стороны, МКР не всегда сходится к требуемому решению, являясь довольно чувствительным к выбору начального приближения. В то же время метод итерации с инерцией сходится к нужному решению при любом выборе начального приближения.

### **Литература**

1. *Файзуллин Р.Т.* О решении нелинейных алгебраических систем гидравлики // Сибирский журнал индустриальной математики. 1999. Т. 2, № 2. С. 176–184.
2. *Меренков А.П., Хасилев В.Я.* Теория гидравлических цепей. М.: Наука, 1985.
3. *Жихалкина Н.Ф., Файзуллин Р.Т.* Задача минимизации суммарных затрат по транспортировке нефтепродуктов // Сибирский журнал индустриальной математики. 2002. Т. 5, № 1. С. 63–73.
4. *Логинов К.В., Мызников А.М., Файзуллин Р.Т.* Расчёт, оптимизация и управление режимами работы больших гидравлических сетей // Математическое моделирование. 2006. Т.18, № 9. С. 92–106.

***Т.А. Шевелева***

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*  
SPIN-код: 5059-6717

**ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ  
И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ГРАНИЦ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА  
ДВУХ И ТРЕХЗВЕННЫХ  
ПЛАНАРНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ**

Рабочее пространство манипулятора является основной характеристикой, которая указывается в паспорте. Исследование рабочего пространства выполняется в процессе построения траектории движения манипулятора, а также при решении обратной задачи кинематики.

Несмотря на то, что вопросам изучения рабочего пространства и решения обратной задачи кинематики посвящено значительное количество работ отечественных и зарубежных исследователей: Е.И. Юревича, О.И. Борисова, Y. Cao, A. Aristidou, в большинстве из них используется достаточно сложный математический аппарат, аналитические решения усложняются использованием нелинейных уравнений и обратных матриц (С.Л. Зенкевич, S. Kucuk, A. Aristidou, A. N. Pechev). В заданном положении манипулятора точка центра схвата определяется единственными значениями декартовых координат, но ей соответствуют в общем случае несколько значений каждой обобщенной координаты. Как и в любом нелинейном уравнении, решения неоднозначны, и возможно несколько решений. В этой связи возникают существенные сложности выделения этих координат, особенно при расчете траекторий перемещения звеньев манипулятора. Получаемые результаты не наглядны и требуют дополнительной обработки.

В этой связи актуальными являются исследования, направленные на развитие методологии геометрического и компьютерного моделирования рабочего пространства манипуляторов, при-

менительно к их использованию в среде интегрированных систем компьютерной графики. Для этого требуется разработать геометрические модели, включающие геометрические объекты, содержащие информацию как о координатах точек центра схвата, так и о значениях независимых параметров в этих точках. Эти модели будут являться основой для разработки алгоритмического и программного обеспечения компьютерного моделирования рабочего пространства двух и трехзвенных планарных манипуляторов. Такие исследования позволят совершенствовать непосредственно конструкцию манипуляторов, исследовать траектории их перемещения в различных средах и решать обратную задачу кинематики.

В докладе рассматривается моделирование границ рабочего пространства двух и трехзвенных планарных манипуляторов средствами современных САПР.

В промышленных манипуляторах обобщенные координаты изменяются в ограниченных диапазонах. Разработанные алгоритмы и программы позволяют получать и исследовать компьютерные модели при задании необходимых границ изменения независимых параметров в автоматизированном режиме.

Также разработаны модели двухзвенного планарного манипулятора, которые визуализируют 3D-модели  $U$ -поверхности и  $V$ -поверхности соответственно, а также границы этих поверхностей. Рабочее пространство ограничено кривыми линиями и линиями, определяющими границы обобщенных координат.

Из совмещенных 3D-моделей  $U$ - и  $V$ -поверхностей, а также границ дискриминант этих поверхностей следует, что горизонтальные проекции линий этих поверхностей совпадают и представляют собой стыкованные дуги окружностей, что подтверждается исследованиями, приведенными в работе [2]. Фронтальные проекции этих линий не совпадают, так как находятся на различных поверхностях.

Принципиальным отличием полученных результатов от известных является возможность с помощью разработанных алгоритмов и программы находить границы рабочего пространства и решать обратную задачу кинематики. Определение обобщенных координат (углов поворота звеньев) манипулятора по известным координатам  $(x, y)$  точки центра схвата выполняется на  $U$ - и  $V$ -по-

верхностях. Так, задав точку центра схвата с координатами  $(x, y)$  на горизонтальных проекциях  $U$ - и  $V$ -поверхностей, на фронтальных проекциях этих поверхностей определяются обобщенные координаты  $u$  и  $v$ . И наоборот, зная  $(u, v)$ , можно определить  $(x, y)$ . Отметим, что для некоторых фрагментов поверхностей существует два решения  $(u, v)$  для одной и той же точки  $(x, y)$ . Для иллюстрации таких возможностей приводится несколько примеров.

### **Литература**

1. Zar T., Lin P.W., Win D.S.Y. Workspace Analysis of Two-link Planar Manipulator // International Journal of Science and Engineering Applications. 2019. Vol. 8, iss. 08. P. 380–383.
2. Зенкевич С.Л., Юценко А.С. Основы управления манипуляционными роботами: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности «Роботы и робототехнические системы». М.: Изд-во МГТУ, 2004. 478 с.

*Н.А. Моисеева<sup>1</sup>, Т.А. Полякова<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия  
SPIN-код: 7359-0898*

*<sup>2</sup>Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет,  
г. Омск, Россия  
SPIN-код: 4090-8339*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОМЫШЛЕННЫХ ДАННЫХ**

Как правило, большинство современных технических исследований сопровождается обработкой больших объемов промышленных данных. Например, речь может идти об исследовании влияния дорожного покрытия на такие показатели, как износ шин автомобилей, скорость движения транспорта, интенсивность движения и состав транспортного потока в автотранспортной отрасли [1]; при изучении степени влияния ряда факторов на прочность бетона и оценке надежности каких-либо конструкций в строительстве; при анализе и моделировании процессов нефтегазодобычи и т. д. Современные процессы цифровизации инициируют применение новых эффективных инструментов в образовательном процессе при решении целого ряда подобных технических задач.

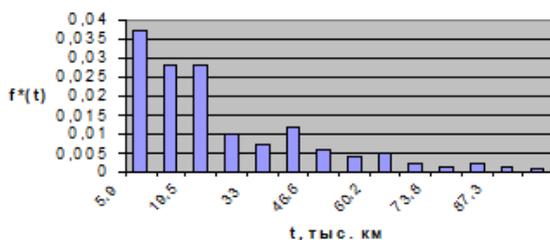
Рассмотрим в качестве примера задачу исследования влияния различных факторов на величину давления в шинах. Как отмечает А.Ф. Колбасов, «проверка давления в шинах является первоочередной задачей в списке ежедневного обслуживания автомобиля», поскольку своевременный контроль данного показателя позволяет вовремя сделать «предупреждение об опасном изменении давления в них» и, как следствие, будет способствовать «повышению безопасности на дорогах» [2]. Так, в рамках данного исследования студентам может быть предложена задача, связанная со статистической обработкой данных, полученных в результате наблюдения за шинами, у которых давление остается постоянным и сохраняется в течение пробега автомобилей

( $S$ , км). Данные 380 наблюдений за шинами в диапазоне от 2,5 до 95 тыс. км взяты из учебного пособия [3, с. 49].

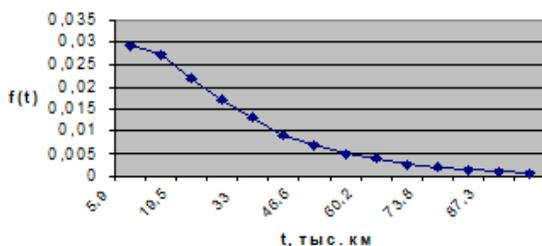
Этап статистического анализа данных, связанный с первоначальной обработкой и определением закона распределения, соответствующего набору данных в приведенном примере, можно провести с использованием надстройки «Пакет анализа» в табличном процессоре Excel (далее Excel). Отметим, что знание закона распределения случайной величины полезно при статистическом исследовании данных, поскольку дает возможность выявления зависимости от изменения параметров, связанных с ней, прогнозировать ее поведение, строить математическую модель изучаемого технического процесса.

Проведенный анализ данных позволил выдвинуть и подтвердить гипотезу о том, что полученный статистический ряд подчиняется гамма-распределению с теоретической функцией плотности распределения вероятностей:  $f(t) = 0,02t^{0,4} \cdot e^{-0,056t}$  [3, с. 49–50].

Гистограмма плотности относительных частот, полученная по результатам наблюдения, а также график теоретической плотности распределения пробега шин, у которых сохраняется постоянное давление, представлены на рисунке.



а



б

Гистограмма и плотность распределения

Помимо Excel можно использовать функционал цифрового онлайн-сервиса Wolfram Alpha (встроенная математическая статистика: <https://www.wolframalpha.com/>), онлайн-калькуляторы, такие, как «Статистика онлайн» ([https://math.semestr.ru/group/group\\_manual.php](https://math.semestr.ru/group/group_manual.php)), <https://medstatistic.ru/calculators.html>; цифровые среды, позволяющие проводить статистические расчеты с применением соответствующих языков программирования, например, R, Python) [4].

Совместное применение упомянутых технологий наряду с традиционными технологиями аналитики данных при подготовке будущих инженеров технического профиля во многом способствует развитию соответствующих цифровых компетенций, высокие требования к которым предъявляет современный рынок труда в условиях цифровой экономики.

#### **Литература**

1. *Питухин А.В., Петров А.Н.* Влияние ровности покрытий на работоспособность автомобильных дорог // Транспортное дело России. 2010. № 5. С. 71–75.
2. *Колбасов А.Ф.* Способы контроля давления воздуха в автомобильной шине // Известия Сочинского государственного университета. 2012. № 4 (22). С. 178–181.
3. *Галушко В.Г.* Вероятностно-статистические методы на автотранспорте. Киев: Высшая школа, 1976. 232 с.
4. *Моисеева Н.А., Полякова Т.А., Ширинова Т.А.* Значимость цифровых сервисов в решении задач информационно-математического моделирования для будущих инженеров // Наука о человеке: гуманитарные исследования. 2023. Т. 17, № 1. С. 116-128. DOI: 10.57015/issn1998-5320.2023.17.1.13.

*А.В. Гетте, П.А. Борисовский*<sup>1</sup>

*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Омский филиал,  
г. Омск, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 2979-6055

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН С ВЕРОЯТНОСТНЫМ ОГРАНИЧЕНИЕМ**

В настоящее время облачные вычисления имеют большую популярность благодаря своему удобству, масштабируемости и экономической эффективности. Они позволяют клиентам быстро адаптироваться к изменениям в потребностях, не требуя значительных затрат на оборудование и обслуживание. Облачные вычисления предоставляются многими компаниями, такими как Яндекс, Huawei, Google и другие [2]. Фирмы из различных отраслей, включая финансы, здравоохранение, образование и технологии, используют облачные решения для обработки данных и хранения информации.

Для поставщиков облачных услуг ключевым вопросом является определение оптимального количества серверов в центре обработки данных (ЦОД) для выполнения требуемого количества заявок. Эта проблема моделируется и решается в виде известной оптимизационной задачи упаковки в контейнеры с дополнительными условиями, отражающими технологические особенности ЦОД.

Работа посвящена стохастической постановке задачи упаковки в контейнеры, в которой объемы заявок являются случайными величинами [1]. Это позволяет учитывать неопределенность входных данных, часто возникающую на практике, поскольку в реальных условиях параметры клиентских виртуальных машин (объем памяти, количество ядер CPU) невозможно точно оценить заранее. Задача состоит в том, чтобы найти размещение виртуальных машин на минимальное количество серверов

так, чтобы вероятность превышения вместимости какого-либо сервера была не больше заданной величины. В [1] рассмотрен случай нормального распределения объемов заявок.

В данном докладе предлагается использовать метод Монте-Карло для расчета вероятности превышения вместимости, что дает возможность рассматривать более общие задачи с различными распределениями. Для сокращения времени вычислений выполнена параллельная реализация метода для выполнения на графическом процессоре. Далее этот подход применен в рамках генетического алгоритма для минимизации количества серверов. Проведены вычислительные эксперименты по сравнению решений в различных условиях, в частности показано, что при целочисленных значениях объемов заявок теоретическая оценка вероятности превышения, основанная на нормальном распределении, может давать большую погрешность. Также обсуждаются возможности данного подхода при решении задач большой размерности и эффект от использования графического процессора.

### **Литература**

1. *Cohen M.C. et al.* Overcommitment in Cloud Services: Bin Packing with Chance Constraints // *Management Science*. 2019. Vol. 65, No. 7. P. 3255–3271.
2. *Zhan Q., Cheng L., Boutaba R.* Cloud computing: State-of-the-art and research challenges // *Journal of Internet Services and Applications*. 2010. Vol. 1. No. 1. P. 7–18.

**Ю.В. Захарова**

*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Омский филиал,  
г. Омск, Россия*

SPIN-код: 2346-8377

## **СВОЙСТВА РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЙ С РЕСУРСОЗАВИСИМЫМИ ДЛИТЕЛЬНОСТЯМИ РАБОТ\***

Рассматривается задача составления расписаний в следующей постановке [1]. Имеется множество работ, которые должны быть выполнены с использованием имеющегося набора машин. Длительность  $p_{ij}(R)$  работы  $j$  зависит от используемой машины  $i$  и объема потребляемого ресурса  $R$  (задается выпуклой функцией). Общий объем ресурса ограничен, причем во время простоя машины также идет потребление ресурса (задается линейной функцией). Требуется построить допустимое расписание, при котором минимизируется длина расписания  $\max_j C_j$ , где  $C_j$  – момент завершения работы  $j$ . При этом могут учитываться условия предшествования и запреты на совместное выполнение [2].

Данная задача имеет приложения в производственных и компьютерных системах. В производственных системах ресурсом указанного типа выступает сырье и энергия, а в компьютерных системах – энергия и температура [1; 3].

Исследуются структурные свойства расписаний для указанной задачи, устанавливаются случаи, когда допустимого расписания не существует. Идентификация неразрешимого случая основана на поиске коней многочлена специального вида. Приводятся полиномиально разрешимые случаи, когда полиномиально вычисляемая нижняя оценка и оптимальное значение целевой функции совпадают.

---

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-71-10015.

Для решения задачи используется двухэтапный алгоритм. На первом этапе вычисляются нижняя оценка на целевую функцию и оценка длительностей работ. На втором этапе строится расписание с помощью алгоритма списочного типа при учете структурных ограничений. Предлагаются обобщения на случай, когда можно задействовать несколько машин при выполнении работы и длительность при этом уменьшается линейно.

### **Литература**

1. *Захарова Ю.В.* Приближенные алгоритмы для вариантов задачи open shop с учетом расхода энергии // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2024. Т. 30, № 4. С. 117–133.
2. *Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струсевич В.А.* Теория расписаний: Многостадийные системы. М.: Наука, 1989. 327 с.
3. *Shabtay D., Kaspi M.* Parallel machine scheduling with a convex resource consumption function // European Journal of Operational Research. 2006. Vol. 173, No. 1. P. 92–107.

**Ю.В. Захарова<sup>1,3</sup>, Л.А. Заозерская<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,  
г. Омск, Россия

<sup>2</sup>Омский государственный технический университет,  
г. Омск, Россия

<sup>3</sup>Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Омский филиал,  
г. Омск, Россия

<sup>1</sup>SPIN-код: 2346-8377, <sup>2</sup>SPIN-код: 6670-973

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭВРИСТИКИ ДЛЯ ОБОБЩЕНИЙ ЗАДАЧИ О НАЗНАЧЕНИЯХ\*

В классической задаче о назначениях имеется  $n$  исполнителей, которые необходимо назначить на  $n$  задач. Известна стоимость назначения  $a_{ij}$  исполнителя  $i$  на задачу  $j$ ,  $i, j=1, \dots, n$ . Минимизируется суммарная стоимость назначений. Введем булевы переменные:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если исполнитель } i \text{ назначен на задачу } j \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}, \quad i, j = 1, \dots, n.$$

Тогда модель целочисленного линейного программирования имеет вид [1]:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} &\rightarrow \min, \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} &= 1, \quad i = 1, \dots, n, \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} &= 1, \quad j = 1, \dots, n, \\ x_{ij} &\in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

В работе рассматриваются практически значимые обобщения этой задачи, обусловленные социально-экономической и

---

\* Работа выполнена в рамках государственного задания ИМ СО РАН, проект FWNF-2022-0020.

производственной спецификой приложений [1; 4; 6], в которых учитываются:

- запреты на назначения ввиду технологий производства или организационных условий;
- порядок назначений и приоритеты, исходя из важности задач и предпочтений исполнителей;
- назначение нескольких исполнителей на задачу и учет ресурсных ограничений ввиду наличия факторов планирования и свойств объектов. Обсуждаются и строятся модели частично целочисленного линейного программирования для указанных случаев.

Рассматриваемые обобщения задачи о назначениях принадлежат к классу NP-трудных задач оптимизации. Среди методов решения исследуются такие матэвристики, как *feasibility pump* [2], *local branching* [2], алгоритмы на основе детерминированных и рандомизированных округлений [3; 5], а также алгоритмы локального поиска с просмотром окрестности на основе решения задач частично целочисленного линейного программирования пониженной размерности [2; 6].

## Литература

1. *Леушкин А.Д., Неймарк Е.А.* Квадратичная задача о назначениях. Обзор методов, генерация тестовых задач с априорно известным оптимумом // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2020. № 4 (131). С. 26–34.
2. *Fischetti M., Fischetti M.* Matheuristics. Handbook of Heuristics. Springer, Cham. 2016. P. 121–153.
3. *French A.P., Wilson J.M.* An LP-based heuristic procedure for the generalized assignment problem with special ordered sets // Computers and operations research. 2007. Vol. 34. №. 8. P. 2359–2369.
4. *Kundakcioglu O.E., Alizamir S.* Generalized assignment problem // Encyclopedia of Optimization. Springer, Boston, MA. 2008. P. 1153–1162.
5. *Raghavan P., Tompson C.D.* Randomized rounding: a technique for provably good algorithms and algorithmic proofs // Combinatorica. 1987. Vol. 7. №. 4. P. 365–374.
6. *Zaozerskaya L.* A heuristic for a special case of the generalized assignment problem with additional conditions // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1791. 012092.

**Ю.В. Захарова<sup>1</sup>, М.Ю. Сахно<sup>2</sup>**

*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Омский филиал,  
г. Омск, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 2346-8377, <sup>2</sup>SPIN-код: 7814-2183

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ЗАДАЧ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЙ С РЕСУРСНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ\***

Рассматривается класс задач составления расписаний множества работ (программных модулей) на процессорах или ядрах [1; 3]. В каждый момент времени процессор может выполнять не более одной работы. При выполнении процессоры или ядра используют такие совместные ресурсы, как шина данных и энергия. Длительности работ зависят от потребляемого объема ресурса. Потребление ресурса рассматривается как критерий или как ограничение [2; 4].

Предлагаются конструктивные алгоритмы жадного типа. В оффлайн постановке по характеристикам работ формируется их последовательность, в которой работы добавляются в расписание с учетом загрузки процессоров и объемов потребляемых ресурсов. В онлайн постановке работы назначаются в расписание с учетом текущей загрузки процессоров и характеристик работ. Проводится теоретический анализ расписаний с прерываниями и без прерываний. Экспериментальное исследование основывается на тестировании алгоритмов на данных, полученных из известных библиотек, и свидетельствует о целесообразности использования разработанных алгоритмов.

### **Литература**

1. *Еремеев А.В., Сахно М.Ю.* Построение расписания для многоядерного процессора с учетом взаимного влияния работ // Вычислитель-

---

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-71-10015.

- ные методы и программирование (Numerical methods and programming). 2023. Т.24, № 1. С. 115–126.
2. *Bampis E., Letsios D., Lucarelli G.* A note on multiprocessor speed scaling with precedence constraints // Proceedings of the 26th ACM symposium on Parallelism in algorithms and architectures. 2014. P. 138–142.
  3. *Drozdowski M.* Scheduling for Parallel Processing. Springer, 2009.
  4. *Zakharova Y., Sakhno M.* Complexity and heuristic algorithms for speed scaling scheduling of parallel jobs with energy constraint // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2025. Vol. 457. 116254.

**С.Е. Макаров<sup>1</sup>, И.Д. Макарова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,  
г. Омск, Россия

<sup>2</sup>Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия  
<sup>1</sup>SPIN-код: 8377-3700, <sup>2</sup>SPIN-код: 1502-3186

## РЕАЛИЗАЦИЯ НА RUTHON МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЖЕСТКИХ СИСТЕМ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Будем рассматривать задачу Коши для автономной системы обыкновенных дифференциальных уравнений [1]

$$y'(t) = f(y), y(0) = y_0, \quad t \in [0, 1], \quad (1)$$

где  $y, f$  – вещественные  $n$ -мерные векторные функции,  $n$  – независимая переменная,  $y_0$  –  $n$ -мерный вектор начальных условий.

Система называется жесткой, если выполняются следующие условия [1]:

1)  $\operatorname{Re} \lambda_k(A) < 0, k = 1, 2, \dots, n$  (здесь  $\operatorname{Re} \lambda_k(A)$  – действительная часть собственного значения  $\lambda_k$ );

2) велико отношение

$$S = \frac{\max_{1 \leq k \leq n} |\operatorname{Re} \lambda_k(A)|}{\min_{1 \leq k \leq n} |\operatorname{Re} \lambda_k(A)|}.$$

Число  $S$  называется числом жесткости системы. Под матрицей  $A$  понимают матрицу Якоби от правой части системы (1).

Жесткие системы ОДУ встречаются в различных областях науки и техники: химическая кинетика, механика, электроника, физика плазмы, биология и другие. Жесткость обычно связана с наличием сильно различающихся временных масштабов в системе. Для решения таких систем стандартными методами приходится выбирать очень малый шаг интегрирования, хотя в некоторых случаях и это не помогает. Поэтому используются специ-

альные методы. К их числу можно отнести неявные методы, методы Розенброка, BDF-методы, экспоненциальные методы.

В работе было проведено сравнение пяти методов на языке Python. Четыре метода были взяты из [2]:  $L$  – устойчивый (4,2)-метод четвертого порядка точности, одностадийный  $L1$  – устойчивый метод Розенброка второго порядка, четырехстадийный явный метод Рунге-Кутты четвертого порядка точности и метод конечных суперэлементов (или метод матричной экспоненты [3]) и пятый –  $A$ -устойчивый метод Гира второго порядка из семейства BDF-методов [1].

Выбор языка определяется не только наличием встроенных функций линейной алгебры, как во многих системах компьютерной математики, позволяющих ускорить процесс разработки и отладки программ, но и наличием функции `solve_ivp` (из библиотеки `scipy.integrate`), решающей жесткие уравнения и системы (1). В качестве тестовой задачи рассматривалась следующая система из [2]:

$$\begin{cases} y_1' = \mu_0 y_1, \\ y_2' = (\mu_0 - \mu_1) y_1 + (\mu_1 + \nu_1) y_2 - \nu_1 y_3, \\ y_3' = (\mu_0 - \mu_1 - \nu_1) y_1 + 2\nu_1 y_2 + (\mu_1 - \nu_1) y_3, \\ y_4' = (\mu_0 - \mu_1 - \nu_1) y_1 + 2\nu_1 y_2 + (\mu_1 - \nu_1 - \mu_2) y_3 + \\ \quad + (\mu_2 + \nu_2) y_4 - \nu_2 y_5, \\ y_5' = (\mu_0 - \mu_1 - \nu_1) y_1 + 2\nu_1 y_2 + (\mu_1 - \nu_1 - \mu_2 - \nu_2) y_3 + \\ \quad + 2\nu_2 y_4 + (\mu_2 - \nu_2) y_5. \end{cases} \quad (2)$$

Несмотря на линейную систему уравнений, в зависимости от параметров и начальных условий данная задача может быть хорошо обусловленной, плохо обусловленной, быстро осциллирующей, жесткой быстро осциллирующей и жесткой.

Использование функции `solve_ivp` с автоматическим выбором шага для решения системы (2) дает хорошие результаты (норма абсолютной погрешности равнялась  $10^{-11} - 10^{-12}$  для всех без исключения типов задач), установив окончательный шаг интегрирования, равный  $h = 10^{-6}$ .

Отметим, что независимо от шага интегрирования лучшим оказался метод матричной экспоненты. Этот метод дал наилуч-

шие результаты для всех типов задач в силу того, что Python имеет встроенную функцию вычисления матричной экспоненты (`numpy.expn(A)`), и, тем самым, получаем в силу линейности системы (2) почти «точное» решение независимо от свойств задачи.

Второе место поделили три метода: метод Розенброка, (4,2)-метод и метод Гира. Предпочтение отдадим первым двум в силу того, что метод Гира требует решения нелинейной системы уравнений, что при сопоставимых по точности результатах с методом Розенброка приводит к большим временным затратам.

Явный метод Рунге-Кутты дает большие погрешности при больших шагах интегрирования, но вполне достойно ведет себя при  $h \leq 10^{-4}$ .

### **Литература**

1. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука, 1989.
2. Галанин М.П., Ходжаева С.Р. Методы решения жестких обыкновенных дифференциальных уравнений. Результаты тестовых расчетов // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2013. № 98. 29 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013-98>.
3. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику. М.: Изд-во Моск. физ.-техн. ин-та, 1994.

*Д.А. Зубов, В.Б. Николаев*

*Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,  
г. Омск, Россия*

## **ЗАДАЧА НА УРАВНЕНИЕ НАВЬЕ – СТОКСА С УСЛОВИЕМ КОШИ**

В рамках данной работы будет представлена постановка задачи, связанная с уравнением Навье – Стокса, которое описывает движение вязкой несжимаемой жидкости. Основное внимание будет уделено задаче Коши, где мы рассматриваем начальные условия для скорости и плотности жидкости.

Уравнения Навье – Стокса в общем виде описывают динамику жидкости и включают в себя уравнения сохранения импульса и массы. В данной работе мы будем исследовать эти уравнения в контексте сферических координат, что позволяет более точно моделировать физические процессы, происходящие в системах с симметрией, например, в задачах, связанных с потоками вокруг сферических объектов.

Постановка задачи включает в себя следующие элементы:

- **Формулировка уравнений:** Мы начнем с записи уравнений Навье – Стокса в сферических координатах, учитывая все необходимые преобразования и особенности, связанные с этой системой координат.

- **Начальные условия:** Будут заданы начальные условия для скорости и плотности жидкости, которые являются ключевыми для решения задачи Коши.

- **Цель работы:** Основной целью является получение оценок для неизвестных величин – скорости и плотности. Мы будем использовать методы анализа, такие как энтропийные и интегральные оценки, чтобы установить существование и уникальность решений, а также их свойства.

- **Анализ особенностей:** Особое внимание будет уделено анализу возможных сингулярностей, возникающих в полюсах

сферической системы координат, и их влиянию на поведение решений.

В работе будут получены оценки для данной постановки задачи.

### **Литература**

1. *Рождественский Б.Л., Яненко Н.Н.* Системы квазилинейных уравнений и их приложение к газовой динамике. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1978. 690 с.
2. *Антонцев С.Н., Кажихов А.В., Монахов В.Н.* Краевые задачи механики неоднородных жидкостей. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. 322 с.

***Е.В. Ушакова***

*Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,  
г. Омск, Россия  
SPIN-код: 9904-3140*

## **ТЕОРЕТИКО-ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ РАВНОВЕСИЯ С РЕКЛАМНЫМИ РАССЫЛКАМИ НА ДВУСТОРОННЕМ РЫНКЕ**

В настоящее время платформенная экономика стремительно развивается, формируется нормативная база [2], формируется понятийная база. Большое количество исследований посвящено теоретико-игровым моделям на двусторонних рынках. В работе Армстронга [4] представлена модель ценообразования для конкурирующих платформ на линейном городе. В [1; 7–9] решены задачи ценообразования и оптимального размещения платформ на плоскости. В статье [3] рассмотрена дуополия Хотеллинга на плоскости с информационными рассылками.

В данной работе представлена теоретико-игровая модель ценообразования в задаче о размещении на двустороннем рынке с информационными рассылками на плоскости. Найдено равновесное решение задачи в случае несимметричного расположения платформ с учетом транспортных издержек и межсетевых экстерналий. Функции полезности агентов обеих групп определяются с использованием спецификации Хотеллинга [6]. Приводится численное решение.

### **Литература**

1. Коновальчикова Е.Н. Дуополия Хотеллинга на двустороннем рынке сетевых платформ в метрике Манхэттена // Математическая теория игр и её приложения. 2022. Т. 14, № 3. С. 3–21.
2. Проект Федерального закона «О платформенной экономике в Российской Федерации» (подготовлен Минэкономразвития России 22.11.2024 г.). URL: <https://base.garant.ru/57007713/?ysclid=m522h76s6g775466024> (дата обращения: 24.12.2024).

3. Ушакова Е.В. Дуополия Хотеллинга на плоскости с информационными рассылками // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. № 2(42). С. 66–70.
4. Armstrong M. Competition in two-sided markets // The RAND journal of economics. 2006. Т. 37, № 3. P. 668–691.
5. Butters G. Equilibrium distributions of sales and advertising prices // Review of Economic Studies. 1977. № 44 (3). P. 465–491.
6. Hotelling H. Stability in Competition // Economic Journal. 1929. № 39. P. 41–57.
7. Konovalchikova E. N. Optimum positioning of network platforms on a plane // Automation and Remote Control. 2022. Т. 83, №. 12. P. 2006–2018.
8. Konovalchikova E., Ivashko A. Pricing in Two-Sided Markets on the Plain with Different Agent Types // International Conference on Mathematical Optimization Theory and Operations Research. Cham: Springer International Publishing, 2022. P. 194–209.
9. Mazalov V., Konovalchikova E. Hotelling's duopoly in a two-sided platform market on the plane // Mathematics. 2020. Т. 8, № 6. P. 865.

УДК 004.91

***М.М. Барашков, Е.А. Витько***<sup>1</sup>

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

<sup>1</sup>SPIN-код: 6107-1004

## **РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫДАЧИ АКТОВ ЭКСПЕРТИЗЫ**

В работе рассматривается автоматизация выдачи актов экспертиз экспертами унитарного предприятия «Витебское отделение Белорусской торгово-промышленной палаты» для лесоперерабатывающих предприятий. Для реализации информационной системы необходимо было учесть ключевые сущности и связи между ними, обеспечив автоматизацию следующих процессов: сбор данных о партии лесоматериалов, включая породу, объем и качество; хранение и обработка данных, относящихся к отбракованным лесоматериалам; создание актов экспертизы на основании собранной информации; формирование отчетности и интеграция данных для последующего анализа.

Для реализации системы были использованы язык программирования Java, фреймворк Spring Boot (для создания серверной части приложения), шаблонизатор Thymeleaf (для создания клиентской части приложения), фреймворк Bootsrap (для стилизации пользовательского интерфейса), JavaScript (для реализации динамических функций пользовательского интерфейса) и система управления базами данных MySQL.

На основании анализа предметной области были выделены следующие сущности: пользователь, эксперт, акт экспертизы, дефект, договор поставки, лесоматериал, лесхоз, транспорт.

В рамках данной работы было создано приложение, интерфейс которого разделен на несколько страниц, каждая из которых выполняет определенные задачи и обеспечивает взаимодействие пользователя с системой. В частности, страница создания акта экспертизы (рис.) предоставляет пользователю форму для заполнения данных, необходимых для формирования нового акта. Форма включает в себя поля для ввода названия акта, описания заключения эксперта, даты проведения экспертизы, а также выбора ответственных лиц.

### Редактировать Акт

Общая информация

Номер Акта	Дата Акта	Дата Осмотра	Дата Поставки
1	16.01.2025	16.01.2025	16.01.2025

Оператор

Оператор 2

Договор поставки

2-К от 2025-01-15

Предъявлено к экспертизе

Номер Документа	Лесхоз	Материал	Транспорт
12/Л/1	Сенненский лесхоз	Сосна - 6.0	МАЗ АМ 2409-2, прицеп А 5

Объемы и Количества

Объем Сорт А	Объем Сорт В	Объем Сорт С
0.08	0.03	0.03
Количество Сорт А	Количество Сорт В	Количество Сорт С
4	44	2
Общий объем	Общее количество	
0.14	50	

Заключение эксперта

Объем Сорт А	Объем Сорт В	Объем Сорт С
0.04	0.04	0.03
Количество Сорт А	Количество Сорт В	Количество Сорт С
4	3	4
Общий объем	Общее количество	
1.21	18	

Дефекты лесоматериалов

Добавить дефект

Название дефекта	Количество	Объем	Действия
Кривизна	3	0,06	Удалить
Синевя (Сорт С)	4	1,04	Удалить

Сохранить Отмена

Страница создания акта экспертизы

После заполнения всех обязательных полей пользователь может сохранить акт, который будет добавлен в систему и доступен для дальнейшего редактирования или формирования отчета, а также экспортировать полученный акт в формате PDF.

*Е.Д. Волкова, Н.В. Козлова*

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ MVC ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНОВ НА ПЛАТФОРМЕ ASP.NET**

В последние годы разработка веб-приложений с использованием концепции Model-View-Controller (MVC) на платформе ASP.NET получила широкое распространение, особенно для создания интернет-магазинов. Концепция MVC позволяет разделить приложение на три основные составляющие: модель, представление и контроллер, что способствует улучшению структуры кода, его тестируемости и расширяемости. В контексте разработки интернет-магазинов – это особенно важно, так как такие приложения часто требуют гибкости, масштабируемости и надежности.

Модель представляет собой компонент, который управляет данными и бизнес-логикой приложения. В случае интернет-магазина модель будет включать объекты, такие как товары, категории товаров, заказы, пользователи, платежи и другие элементы, которые напрямую связаны с функционалом магазина. Модель не зависит от способа отображения данных, что позволяет легко изменить представление без необходимости переписывать бизнес-логику. Важно отметить, что модель также отвечает за работу с базой данных, поэтому правильная реализация модели критична для успешной работы интернет-магазина [1].

Представление отвечает за отображение данных пользователю. Это веб-страницы, на которых покупатель может увидеть каталог товаров, добавить их в корзину, оформить заказ и так далее. С использованием MVC представление полностью отделено от бизнес-логики, что позволяет разработчику изменить внешний вид магазина без влияния на обработку данных. В случае интер-

нет-магазинов представление должно быть не только информативным, но и удобным для пользователей. Хорошо реализованное представление способствует улучшению пользовательского опыта, что является ключевым фактором для успешного функционирования магазина [2].

Контроллер связывает модель и представление, обрабатывает запросы пользователей и выбирает подходящее отображение. Например, при добавлении товара в корзину контроллер обновляет модель и передает данные в представление. Это позволяет создавать динамические веб-приложения без перезагрузки страницы [3].

Одним из больших преимуществ применения MVC для создания интернет-магазинов является упрощение поддержки и расширения приложения. Из-за разделения на компоненты можно независимо развивать каждый из них, не влияя на другие части системы. Например, можно добавить новый функционал, как системы скидок или платёжные системы, не затронув бизнес-логику или интерфейс. Это делает процесс разработки более гибким и экономит время на внесение изменений в будущем [4].

Использование ASP.NET для реализации MVC позволяет воспользоваться множеством встроенных функций, таких как поддержка работы с базами данных через Entity Framework, поддержка маршрутизации URL-адресов, интеграция с системами аутентификации и авторизации, а также многочисленные инструменты для тестирования и отладки. Это значительные преимущества, которые облегчают создание сложных и высоконагруженных интернет-магазинов, так как ASP.NET предоставляет все необходимые средства для эффективного управления жизненным циклом веб-приложения [5].

Однако стоит отметить, что несмотря на очевидные преимущества использования MVC, есть и некоторые сложности, с которыми могут столкнуться разработчики, особенно те, кто не знаком с данной архитектурой. Например, правильное разделение кода на модель, представление и контроллер требует дисциплины и опыта. В случае, если структура проекта будет нарушена, это может привести к трудностям в поддержке и расширении приложения [6]. Также стоит учитывать, что для достижения максимальной производительности интернет-магазинов важно

тщательно продумать архитектуру приложения и корректно настроить взаимодействие между компонентами.

Таким образом, использование концепции MVC для разработки интернет-магазинов на платформе ASP.NET является эффективным и масштабируемым решением. Этот подход позволяет создать структурированное, тестируемое и легко расширяемое веб-приложение, что особенно важно для динамично развивающихся онлайн-торговых платформ. Применение MVC помогает оптимизировать процесс разработки, улучшить пользовательский опыт и обеспечить стабильную работу интернет-магазинов даже при высокой нагрузке.

### **Литература**

1. *Троелсен Э., Джепикс Ф.* Язык программирования C# 7 и платформы .NET и .NET Core. СПб.: Диалектика, 2018.
2. *Шилдт Г.* C# 9 и .NET 5: полное руководство. СПб.: Питер, 2021.
3. *Фримев А.* Entity Framework Core 2 для ASP.NET Core MVC для профессионалов. СПб.: Диалектика, 2019.
4. *Беккер К.* ASP.NET MVC 5. Введение в разработку. СПб.: Питер, 2017.
5. *Петров В.* Основы разработки интернет-магазинов на платформе ASP.NET. Минск: БХВ-Петербург, 2021.
6. *Власов В.* Технологии разработки веб-приложений: от основ до продвинутых решений. СПб.: Питер, 2020. 448 с.

***Е.Д. Волкова, А.В. Стук***

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

## **РАЗРАБОТКА КОНСОЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ РАБОТЫ ПАТТЕРНОВ DEPENDENCY INJECTION**

На сегодняшний день существует разнообразие фреймворков, которые облегчают работу разработчиков: позволяют создавать более модульный, тестируемый и обслуживаемый код. Примерами фреймворков могут стать Spring Framework, Google Guice, Vue, Ember и другие. Однако многие основываются на паттерне внедрения зависимости, который предоставляет требуемые зависимости объекту вместо создания их внутри самого себя.

Целью работы является исследование паттерна инверсии управления и внедрения зависимостей, а также разработка консольного приложения для демонстрации работы данных паттернов.

В качестве исходных данных использовался открытый код фреймворка Spring Framework. Основным методом исследования является разработка консольного приложения, который будет находить применения для обучения студентов паттерну внедрения зависимостей и основам работы с Spring Framework. Применение IoC и DI способствует снижению степени связанности между модулями системы, что упрощает сопровождение и расширение приложений [1].

Сначала обозначим, что такое паттерны проектирования и для чего они нужны:

1. Для решения типичной проблемы, которая часто встречается при проектировании программ.

2. Паттерны не являются готовым решением, которое можно сразу скопировать в свой код. Это общее описание решения проблемы, которое после некоторой разработки можно реализовать в разных ситуациях.

3. Существуют различные группы паттернов, такие как порождающие, структурные и поведенческие.

Рассмотрим паттерн инверсии управления и внедрения зависимостей. Инверсия управления является общей характеристикой фреймворком, потому что они используют инверсию контроля за объектами и состояниями. Это означает, что компоненты должны зависеть от абстракций других компонентов и не несут ответственности за обработку и создание зависимых объектов. Вместо этого экземпляры объектов предоставляются во время выполнения контейнеров IoC посредством внедрения зависимостей.

Внедрение зависимостей – это метод передачи зависимостей в конструктор объекта. Если необходимый объект был загружен из контейнера IoC, то его зависимости самостоятельно будут предоставлены контейнером. Это позволяет избегать использования зависимостей посредством создания экземпляра вручную, что приводит к уменьшению связи и предоставляет более обширный контроль над временем жизни объектов.

Рассмотрим функционал приложения, которое демонстрирует работу паттерна внедрения зависимостей:

1. Инициализация контекста. Данная команда инициализирует контекст приложения, что включает в себя создание контекста приложения, а также настройку всех компонентов, объявленных в модуле внедрения зависимостей.

2. Получение бина и его зависимостей. После инициализации контекста пользоваться может запросить конкретный компонент (бин) и вывести информацию о нем и его зависимостях. Если контекст не инициализирован, будет выведено сообщение о необходимости выполнения первой команды.

3. Вывод всех бинов. Пользоваться может посмотреть список доступных компонентов в контексте. Это позволяет ознакомиться со всеми зарегистрированными бинами и их текущим состоянием.

4. Вывод результата аннотации Value, который служит для определения компонента. Это демонстрирует управление конфигурацией через внешние файлы.

Весь этот функционал может быть подробно исследован с помощью инструмента “Debug”, что позволяет понять, как начинает свою работу Spring приложение.

Заключение: использование паттерна внедрение зависимостей и инверсии управления, который написан самостоятельно или реализован уже в таких фреймворках, таких как Spring и Google Guice, позволяя создавать слабо связанные и легко тестируемые компоненты. Существует несколько способов внедрения зависимостей, включая внедрение через конструктор, методы и свойства, что обеспечивает гибкость при настройке зависимостей объектов [2].

### Литература

1. Применение инверсии управления для снижения степени связанности модулей в подсистеме учёта сельскохозяйственных животных за счёт внедрения зависимостей. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-inversii-upravleniya-dlya-snizheniya-stepeni-svyazannosti-moduley-v-podsisteme-uchyota-selskohozyaystvennyh-zhivotnyh-za> (дата обращения: 09.01.2025).
2. Инверсия управления и внедрения зависимостей. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/inversiya-upravleniya-i-vnedrenie-zavisimostey> (дата обращения: 10.01.2025).

***С.Д. Горчанюк, Т.Д. Жук***

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

## **РАЗРАБОТКА ОБЛАЧНОГО ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИМ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСОМ**

Облачное хранилище данных – модель онлайн-хранилища, в котором данные хранятся на многочисленных, распределённых в сети серверах, предоставляемых в пользование клиентам, в основном третьей стороной. В противовес модели хранения данных на собственных, выделенных серверах, приобретаемых или арендуемых специально для подобных целей, количество или какая-либо внутренняя структура серверов клиенту, в общем случае, не видна. Данные хранятся и обрабатываются в «облаке», которое представляет собой, с точки зрения клиента, один большой, виртуальный сервер [1, с. 64]. Облачные технологии стремительно развиваются в последние годы. Это связано с тем, что всё больше компаний внедряют решения управления данными, которые позволяют снизить затраты на инфраструктуру и при этом быстро адаптироваться к изменениям на рынке. Облачные хранилища одно из самых популярных и удобных решений для хранения данных благодаря своей доступности, лёгкости и удобству использования.

Целью работы являлась создание облачного хранилища файлов с доступом посредством веб-сайта.

При разработке использовался язык программирования Java, предоставляющий набор инструментов и фреймворков, помогающих сосредоточиться на конкретных нуждах и упростить совместную работу [2, с. 34]. За основу проекта был взят фреймворк Spring и проект Spring Boot, позволяющий упростить и ускорить разработку приложения на Spring [3, с. 52]. В качестве СУБД используется PostgreSQL, которая выделяется своей надёжностью, производительностью и удобством использования. Для ра-

боты с СУБД использовалась библиотека Hibernate, обеспечивающая объектно-реляционное отображение, что позволяет работать с базами данных с помощью объектов Java. Для создания веб-страниц использовался язык разметки HTML, каскадные таблицы стилей CSS, JavaScript, а также библиотека Thymeleaf, позволяющая разрабатывать динамические веб-страницы.

В результате работы были созданы облачное хранилище файлов, а также веб-сайт для взаимодействия с облачным хранилищем.

### **Литература**

1. *Андреевский И.Л.* Технологии облачных вычислений. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2018.
2. *Винто Н., Эйзеле М.* Модернизация Java Enterprise: облачные технологии для разработчиков. СПб.: Питер, 2023.
3. *Бастани К., Лонг Д.* Java в облаке. Spring Boot, Spring Cloud, Cloud Foundry. СПб.: Питер, 2019.

***А.В. Именной, В.В. Новый***<sup>1</sup>

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

<sup>1</sup>SPIN-код: 8336-871

## **ПОИСКОВО-ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ**

В современном мире не редко можно столкнуться с тяжелыми последствиями, вплоть до летального исхода, вызванными неправильным приемом лекарственных препаратов. Одна из составляющих этой проблемы – учёт взаимодействия составных компонентов различных лекарственных препаратов. Некоторые из них несовместимы друг с другом, что может привести к серьезным осложнениям при одновременном приёме.

Причиной подобных ошибок могут являться различные факторы: частая смена лечащего врача, несогласованность действий различных врачей, недостаточность опыта у молодого специалиста, несвоевременное информирование лечащего врача о начале приёма нового препарата, а также несоблюдение рекомендаций по чтению инструкции или консультации с врачом для безрецептурных препаратов.

Для избегания подобных ситуаций в рамках сотрудничества с Витебским областным клиническим диагностическим центром было принято решение о разработке информационной системы, которая позволит при назначении проверять взаимодействие лекарственных препаратов на уровне активных веществ. В случае обнаружения несовместимости, система позволит принимать необходимые меры по изменению плана лечения.

Разработанная система будет полезна как для пациентов медицинских учреждений, так и для специалистов в области медицины, таких как врачи, фармацевты и другие работники здравоохранения. Она позволит им более простым способом анализи-

ровать подходящие препараты и качественнее выбирать оптимальные методы лечения.

В качестве одного из источников данных для информационной системы были использованы материалы сайта [1]. Для их извлечения была разработана программа на языке Python, осуществляющая веб-скрапинг (извлечение данных) и сбор информации обо всех лекарственных препаратах, их активных веществах и взаимодействиях с другими лекарствами.

Существующие решения для поиска взаимодействий имеют свои недостатки, такие как неудобный пользовательский интерфейс и невозможность интеграции с другими системами. Разрабатываемая система позволяет выполнять её интеграцию в произвольные системы благодаря использованию для доступа REST API. Кроме того, она предоставляет возможность поиска по различным наименованиям препаратов, включая международные названия на русском и английском языках, торговые названия и названия активных веществ на русском и английском языках.

### **Литература**

1. Видаль: справочник лекарственных средств. URL: <https://www.vidal.ru/>.

**С.Г. Отгонбаатар, В.В. Новый<sup>1</sup>**

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

<sup>1</sup>SPIN-код: 8336-8713

## **МОНИТОРИНГ И КЛАССИФИКАЦИЯ СООБЩЕНИЙ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ «ТЕЛЕГРАММ»**

В наше время социальные сети стали важной частью повседневной жизни людей. Они не только используются для общения друг с другом, но и для получения информации, развлечения, а в некоторых случаях даже для заработка.

Эта эволюция распространения информации впечатляет и одновременно может представлять собой опасность. Поэтому разработка программного обеспечения для мониторинга социальных сетей является актуальной задачей в современном цифровом мире.

Большинство современных социальных сетей предлагают встроенные средства мониторинга групп, каналов. Однако их возможности часто бывают либо ограничены, либо вовсе не подходящими для решения каких-то конкретных задач. Например, мессенджер «Телеграмм» не предоставляет встроенные функции для мониторинга статистики канала пользователю, у которого нет доступа к учетной записи администратора этого канала. Задачи мониторинга варьируются, от отслеживания активности пользователей, таких как реакции на сообщения, количество просмотров у определенных публикаций, количество их комментариев, до частоты публикаций, оценки эмоциональной реакции на определенную публикацию и так далее. Эти данные имеют большое значение как с точки зрения изучения мнения по определенному вопросу, реакции на рекламные материалы, так и для выявления фактов противоправного поведения или мошеннических действий.

Решение указанной проблемы включают в себя множество подзадач, таких как сбор данных, статистический анализ и представление полученной информации, определение эмоциональной окраски сообщений и комментариев к ним. Сбор данных и их ана-

лиз может быть возложен на конкретный программный продукт, который работает со встроенными возможностями данного мессенджера, расширяя их функционал.

Для выполнения этих задач, в приложении был использован язык программирования Python и библиотеки Telethon [1], Pyrogram [2] для взаимодействия с мессенджером «Телеграмм».

На данный момент приложение может круглосуточно получать и сохранять данные о каналах, такие как: ID канала, имя канала, количество подписчиков канала, общее количество сообщений, которое было отправлено. Также программа получает информацию о сообщениях, которые были отправлены в каналах такие как: ID сообщения, ID канала, дата отправления, количество просмотров всего, количество переходов, количество оставленных подписчиками комментариев и ID этих пользователей, количество и тип реакции на сообщения. Дополнительно возможна фильтрация сообщений на основе ключевых слов. В дальнейшем развитии проекта планируется добавления способов дополнительной обработки данных для улучшения анализа активности отслеживаемых каналов и классификация сообщений пользователей и реакции на них по эмоциональному тону на основе методов глубокого обучения.

**Заключение.** В результате выполнения работы был разработан базовый модуль получения информации из заданных каналов «Телеграмм» и их предварительной классификации для встраивания в приложения автоматизации анализа данных социальных сетей.

### **Литература**

1. Telethon's Documentation. URL: <https://docs.telethon.dev/en/stable/#>.
2. Telegram MTProto API Framework for Python. URL: <https://docs.pyrogram.org/>.

**Ю.А. Шпакова, М.Н. Подоксенов<sup>1</sup>**

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

<sup>1</sup>SPIN-код: 5120-2532

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ НА PYTHON ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ТЕНЗОРА КРИВИЗНЫ**

В работах [1] и [2] были найдены левоинвариантные лоренцевы метрики на четырехмерных группах Ли  $Hs \times R^+$  и  $SE(2) \times R^+$ , при которых данные группы Ли являются самоподобными многообразиями, и доказано, что других метрик не существует. Вычисление вручную тензора кривизны для единственной метрики на группе Ли  $SE(2) \times R^+$  показало, что многообразие является плоским. В связи с этим возникла необходимость проверить, не являются ли плоскими три самоподобных многообразия группы Ли  $Hs \times R^+$ . При вычислении вручную приходится совершать большое число математических операций, и нельзя быть уверенным в отсутствии ошибки. Для более удобного отображения входных данных и результатов вычислений, а также большей автоматизации расчётов возникла идея разработки программы на языке программирования Python.

Для разработки программы были выбраны среда разработки Visual Studio 2022 и язык программирования Python. Для создания интерфейса программы была использована библиотека Tkinter. С ее помощью были созданы окно программы, поля ввода и вывода данных, а также кнопки.

Алгоритм вычисления тензора кривизны:

1) Умножаем матрицы:  $adE_1, \dots, adE_4$  на матрицу Грама `gram_matrix` при помощи `np.dot`. Получаем четыре матрицы:  $adE_1\_G, \dots, adE_4\_G$ .

2) Вычисляем символы Кристоффеля, при помощи функции `Gamma(a1, a2, a3, a4, ch)`. Получаем четыре матрицы:  $\Gamma_{1ij}, \dots, \Gamma_{4ij}$ .

3) Умножаем обратную матрицу Грама на матрицы, найденные в пункте 2). Получаем четыре матрицы:  $G1_{Gamma_{1ij}}$ , ...,  $G1_{Gamma_{4ij}}$ .

4) Транспонируем полученные матрицы при помощи  $pr.transpose$ . Получаем четыре матрицы:  $Nubla\_E1$ , ...,  $Nubla\_E4$ .

5) Вычисляем шесть матриц  $Nubla\_E1\_E2$ ,  $Nubla\_E1\_E3$ ,  $Nubla\_E1\_E4$ ,  $Nubla\_E2\_E3$ ,  $Nubla\_E2\_E4$ ,  $Nubla\_E3\_E4$  операторов  $\nabla_{[E_i, E_j]}$ .

6) Умножаем попарно матрицы:  $Nubla\_E1$ , ...,  $Nubla\_E4$ . Получаем шесть матриц:  $Nubla_{12}$ ,  $Nubla_{13}$ ,  $Nubla_{14}$ ,  $Nubla_{23}$ ,  $Nubla_{24}$ ,  $Nubla_{34}$ .

7) Умножаем те же матрицы в обратном порядке. Получаем шесть матриц:  $Nubla_{21}$ ,  $Nubla_{31}$ ,  $Nubla_{41}$ ,  $Nubla_{32}$ ,  $Nubla_{42}$ ,  $Nubla_{43}$ .

8) Вычисляем шесть матриц:  $R\_E1\_E2$ ,  $R\_E1\_E3$ ,  $R\_E1\_E4$ ,  $R\_E2\_E3$ ,  $R\_E2\_E4$ ,  $R\_E3\_E4$  при помощи функции  $R\_E\_E(a1, a2, a3)$ , элементами которых являются компоненты тензора кривизны типа (3.1).

9) Умножаем матрицу Грама на шесть найденных матриц.

Конечный итог: имеем шесть матриц  $R\_E12$ ,  $R\_E13$ ,  $R\_E14$ ,  $R\_E23$ ,  $R\_E24$ ,  $R\_E34$ , элементами которых являются компоненты тензора кривизны типа (4.0).

По итогу разработки получена готовая рабочая программа для вычисления тензора кривизны. Для расчета нужно ввести матрицу Грама и структурные константы в виде четырех матриц операторов  $ad E_1$ ,  $ad E_2$ ,  $ad E_3$ ,  $ad E_4$  (рис. 1).

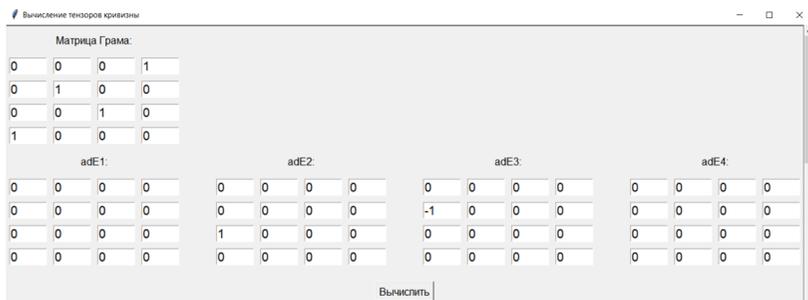


Рис. 1

После выполнения вычислений программа рассчитает тензор кривизны и будет выведена подробная информация о расчете каждого шага. Далее можно пролистать вниз и увидеть финальный результат вычислений (рис. 2).

0.0				0.0				0.0				0.0			
R(E_1,E_2)				R(E_1,E_3)				R(E_1,E_4)				R(E_2,E_3)			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
R(E_2,E_4)				R(E_3,E_4)											
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
0.0	0.0	0.0	0.0	0.25	0.0	0.0	0.0								
0.0	-0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.25	0.0								
R(E_1,E_2,E_kE_j)				R(E_1,E_3,E_kE_j)				R(E_1,E_4,E_kE_j)				R(E_2,E_3,E_kE_j)			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
R(E_2,E_4,E_kE_j)				R(E_3,E_4,E_kE_j)											
0.0	-0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.25	0.0								
0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
0.0	0.0	0.0	0.0	0.25	0.0	0.0	0.0								
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								

Рис. 2

Вычисления показали, что из трех найденных ранее самоподобных многообразий группы Ли  $HS \times \mathbf{R}^+$ , два не являются плоскими. Тем самым доказано, что самоподобные лоренцевы многообразия групп Ли, снабженных левоинвариантными метриками, не обязательно являются плоскими.

## Литература

1. Подоксёнов М.Н., Гуц А.К. Четырёхмерные самоподобные однородные многообразия группы Ли  $HS \times \mathbf{R}^+$  // Вестник Витебского государственного университета им. П.М. Машерова. 2022. № 1. С. 5–10.
2. Подоксёнов М.Н., Шпакова Ю.А. Самоподобное однородное лоренцево многообразие группы Ли  $SE(2) \times \mathbf{R}^+$  // Математические структуры и моделирование. 2023. № 1 (65). С. 46–54.

**О.А. Велько<sup>1</sup>, М.В. Мартон<sup>2</sup>**

*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

<sup>1</sup>SPIN-код: 9921-7557, <sup>2</sup>SPIN-код: 3622-1157

## **АСПЕКТЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МАТЕМАТИКИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ГЕОГРАФОВ**

Математическую подготовку и знания по информационным технологиям студентов географических специальностей можно определить, как педагогический процесс формирования инновационной профессионально ориентированной общематематической подготовки будущих географов, который позволит им не только изучать свои профильные дисциплины, но и даст определенные навыки и умения для решения задач в профессиональной деятельности. Не преувеличивая значение математики и информационных технологий в инновационном развитии географии, хочется надеяться, что студенты, желающие связать свою дальнейшую деятельность с географией, понимают необходимость получения востребованных в их профессии математических знаний для развития своего математического и профессионального мышления, наряду с глубоким и всесторонним пониманием проблем развития сегодняшней географии. Современная математика и информационные технологии неразделимы, и правильная организация учебного процесса существенно повышает эффективность изучения и понимания каждой из дисциплины [1, с. 253].

Рассмотрим, как именно математика и информатика интегрируются в обучение студентов-географов: Анализ данных и статистика, Дифференциальные уравнения и моделирование, Линейная алгебра и геометрия, Геоинформационные системы (ГИС), Анализ больших данных, Кибербезопасность и защита

данных, Моделирование изменения климата, Анализ демографических данных.

Видим, что высшая математика и информатика неотделимы от современного географического образования. Таким образом, студенты-географы, обладающие знаниями в этих областях, становятся более подготовленными к решению актуальных проблем, стоящих перед обществом.

В рамках реализации принципа профессиональной направленности преподавания дисциплин математического цикла на факультете географии и геоинформатики БГУ преподаватели кафедры общей математики и информатики предлагают студентам ряд практических задач, включающих данные географических и геологических исследований, для составления математических моделей и последующего решения при помощи компьютера [2, с. 153]. В заключение рассмотрим несколько конкретных примеров.

**Задача:** Анализ климатических данных и построение климатограммы.

**Условие задачи:** Даны средние месячные температуры и осадки для города за год. Необходимо рассчитать среднегодовую температуру, общее количество осадков и построить климатограмму, которая отображает месячные температуры и осадки на одном графике.

**Данные:**

Средние месячные температуры (°C):

Январь: -2, Февраль: 0, Март: 5, Апрель: 10, Май: 15, Июнь: 20, Июль: 22, Август: 21, Сентябрь: 16, Октябрь: 10, Ноябрь: 4, Декабрь: 0

Месячные осадки (мм):

Январь: 40, Февраль: 35, Март: 45, Апрель: 50, Май: 60, Июнь: 70, Июль: 75, Август: 70, Сентябрь: 55, Октябрь: 50, Ноябрь: 45, Декабрь: 40

**Решение:**

**1. Расчет среднегодовой температуры:**

**2. Расчет общего количества осадков:**

**3. Построение климатограммы:**

**Пример таблицы в Excel:**

	A	B	C
1	Месяц	Температура(°C)	Осадки (mm)
2	Jan	-2	40
3	Feb	0	35
4	Mar	5	45
5	Apr	10	50
6	May	15	60
7	Jun	20	70
8	Jul	22	75
9	Aug	21	70
10	Sep	16	55
11	Oct	10	50
12	Nov	4	45
13	Dec	0	40
14	СРЕДНЕГОДОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА	10.08333333	635

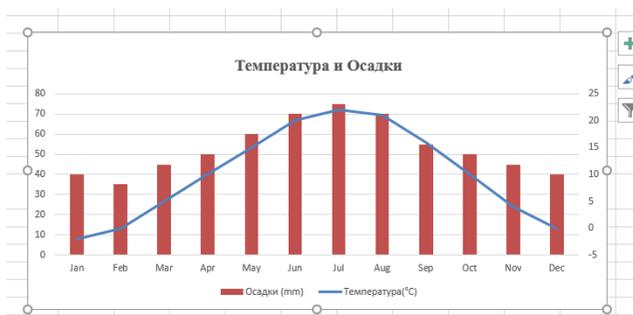
### Формулы в Excel:

- Среднегодовая температура: =СРЗНАЧ(B2:B13)=
- Общее количество осадков: =СУММ(C2:C13)=

### Построение графика:

1. **Выбор данных:** Выделить столбцы с температурой и осадками.
2. **Тип графика:** Построить комбинированный график – линия для температуры и столбцы для осадков.
3. **Оформление:** Настроить вторичную ось для температуры для лучшей визуализации данных.

**График:** Линия температуры показывает сезонные колебания. Столбцы осадков отображают распределение осадков по месяцам, что помогает выявить сухие и влажные периоды.



Этот пример помогает студентам географам использовать табличный процессор MS Excel для обработки климатических данных, проведения расчетов и визуализации информации, что является важным навыком в географическом анализе.

### **Литература**

1. *Мартон М.В.* Интеграция математики и информатики для студентов гуманитарных направлений // Методология и фил. преп. матем. и инф-ки: к 50-летию основания кафедры ОМиМ БГУ: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24-24 апреля 2015 г. Минск: Изд. Центр БГУ, 2015. С. 252–255.
2. *Мартон М.В., Матейко О.М.* Курс «Высшая математика и информатика» для студентов географических специальностей // Математическое образование: современное состояние и перспективы: материалы межд. научн. конф., Могилев, 20–21 февраля 2019 г. Могилев: МГУ им. А.А. Кулешова, 2019. С. 152–155.

*П.В. Травничева, А.В. Каторжевский*

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

## **АЛГОРИТМЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В БЛОКЧЕЙН**

Блокчейн – это децентрализованная база данных, в которой транзакции записываются в виде цепочки блоков [1]. Одной из ключевых особенностей данной технологии является анонимность: пользователи взаимодействуют через публичные адреса, не привязанные напрямую к их личным данным. Однако с развитием методов анализа блокчейна стало возможным идентифицировать группы связанных кошельков, выявлять транзакционные паттерны и даже деанонимизировать пользователей.

Основной инструмент для этого – алгоритмы кластеризации, которые позволяют находить закономерности в блокчейн-данных и группировать объекты с общими характеристиками.

### **Эвристические методы кластеризации**

Эвристические методы основаны на логических предположениях о поведении пользователей. Один из наиболее известных – метод общего входа, который предполагает, что если несколько входов принадлежат одной транзакции, то, вероятно, они контролируются одним владельцем. Однако данный метод уязвим перед такими техниками анонимизации, которые смешивают входы разных пользователей, усложняя их идентификацию.

### **Кластеризация на основе разбиения**

Разбиение данных на группы – один из наиболее распространённых подходов в машинном обучении. К числу наиболее популярных алгоритмов этого типа относятся:

- **K-means** – итеративный метод, который разделяет данные на  $k$  групп, минимизируя внутрикластерное расстояние. В контексте блокчейна он может применяться для выявления сегментов пользователей по их транзакционной активности.

- **DBSCAN** – алгоритм плотностной кластеризации, который позволяет обнаруживать аномальные транзакции и выбросы.

Он эффективен при анализе нерегулярных сетевых структур, таких как блокчейн [2].

### **Графовые методы кластеризации**

Блокчейн можно представить в виде графа, где узлы – это адреса кошельков, а рёбра – транзакции между ними. Для анализа таких структур используются:

- **Алгоритм Louvain** – метод разбиения графов, основанный на оптимизации модульности. Применяется для выявления сообществ и групп аффилированных адресов.

- **Label Propagation Algorithm** – алгоритм, который распространяет метки по графу, позволяя находить естественные кластеры без необходимости предварительно задавать их количество.

- **PageRank** – метод, изначально разработанный для ранжирования веб-страниц, но применяемый в блокчейн-анализе для выявления наиболее значимых узлов в сети (например, бирж и крупных кошельков) [3].

Выбор метода кластеризации зависит от множества факторов: структуры данных, наличия шумов и вычислительной сложности. Оценка качества кластеризации в блокчейне затруднена из-за отсутствия размеченных данных. Однако используются следующие метрики:

- **Silhouette Score** – измеряет плотность кластеров и качество разбиения данных.

- **Modularity** – применяется для оценки качества разбиения графов.

- **Adjusted Rand Index** – позволяет оценить схожесть полученных кластеров с эталонными данными, если таковые имеются.

Кластеризация блокчейн-данных – перспективное направление, помогающее в анализе транзакций, борьбе с мошенничеством и соблюдении регуляторных требований. Несмотря на достигнутый прогресс, остаются нерешенные задачи, связанные с повышением точности и эффективности этих методов, особенно в условиях использования техник повышения анонимности. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку гибридных подходов, объединяющих различные методы анализа данных, а также на адаптацию существующих алгоритмов к специфике блокчейн-технологий.

## Литература

1. *Башир, И.* Блокчейн. Исчерпывающее руководство / пер. с англ. С.В. Черникова и В.И. Бахура. М.: ДМК Пресс, 2025. 894 с.: ил.
2. *Лесковец Ю., Ульман Дж.Д., Раджараман А.* Машинное обучение. Анализ данных: учебник / ред. Д.А. Мовчан; пер. А.А. Слинкин. М.: ДМК Пресс, 2016. 498 с.
3. *Рафгарден Т.* Совершенный алгоритм. Графовые алгоритмы и структуры данных. СПб.: Питер, 2019. 256 с.: ил. (Серия «Библиотека программиста»).

***П.В. Травничева, Т.В. Козлова***

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

## **ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ВЕБ-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРОДАЖ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ**

Современные веб-технологии автоматизируют продажи автомобилей и повышают эффективность бизнеса. Онлайн-платформы помогают расширять клиентскую базу. Для белорусских компаний качественные сайты усиливают конкурентоспособность [1].

Цель – сравнить веб-технологии для авто-продаж и обосновать выбор C# ASP.NET и Entity Framework как оптимального решения для Беларуси.

**Методы и материалы.** Исследование основано на обзорах, документации Microsoft, статьях и личном опыте. Применялись анализ, моделирование и прототипирование. Использованы C#, JavaScript, ASP.NET Core MVC, Microsoft SQL Server [3].

Анализ современных технологий для создания сайтов по продаже автомобилей поможет белорусским компаниям разрабатывать эффективные платформы и увеличивать прибыль.

Примеры популярных авто-сервисов:

1. Abw.by – автопортал с новостями, обзорами и объявлениями [6].
2. Autogrodno.by – региональный ресурс с объявлениями и инфо об автосервисах.

Результаты и обсуждение. Разработаны прототипы модулей: каталог автомобилей, фильтр и система управления заявками. Они демонстрируют возможности C# ASP.NET Entity Framework для автоматизации продаж.

Каталог автомобилей. Основан на ASP.NET Core MVC для гибкого интерфейса, взаимодействие с БД реализовано через Entity Framework Core (рис. 1).

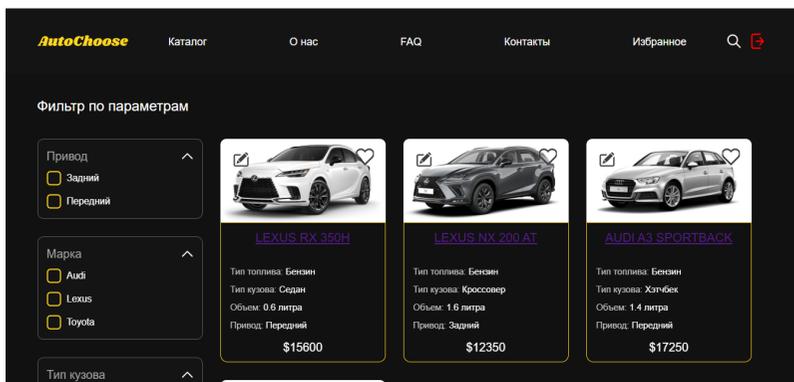


Рис. 1. Каталог

Фильтр. Для реализации данного модуля использовались языки C# и JavaScript, а также платформа ASP.NET Core MVC, что позволило обеспечить высокий уровень интерактивности и удобства для пользователя (рис. 2).

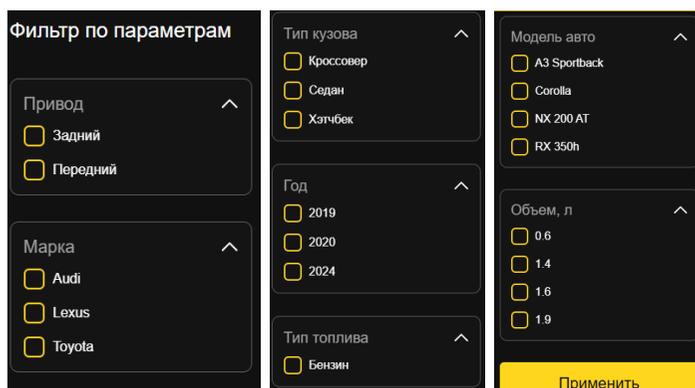


Рис. 2. Фильтр

**Заключение.** Исследование подтвердило обоснованность выбора C# ASP.NET Entity Framework для создания веб-приложения онлайн-продаж автомобилей. Технология обеспечивает производительность, масштабируемость и защиту данных. В перспективе – оптимизация быстродействия, интеграция с CRM и разработка мобильных приложений.

## Литература

1. *Троелсен, Э., Джепикс, Н.* C# 7.0 и платформа .NET Core. Полное руководство = Pro C# 7: With .NET and .NET Core: пер. с англ. М.: Вильямс, 2018. 1280 с. : ил.
2. *Фримен А.* ASP.NET Core MVC с примерами на C# для профессионалов = Pro ASP.NET Core MVC: with C# 7: пер. с англ. 7-е изд. М.: Вильямс, 2020. 848 с. : ил.
3. Официальная документация Microsoft по ASP.NET Core: [сайт]. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/core/?view=aspnetcore-5.0> (дата обращения: 04.11.2024).
4. Официальная документация Microsoft по Entity Framework Core: [сайт]. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/ef/core/> (дата обращения: 04.11.2024).
5. Abw.by: [сайт]. URL: <https://abw.by> (дата обращения: 04.11.2024).

**С.А. Ермоченко**

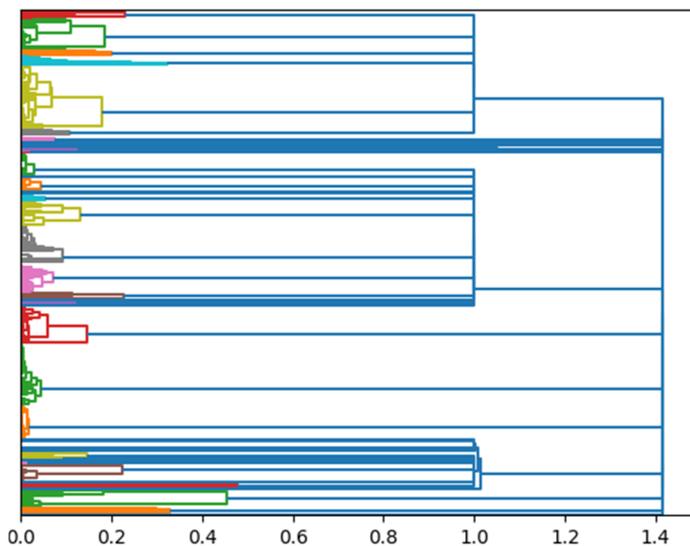
*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь  
SPIN-код: 4105-3911*

## **РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В РЕАЛИЗАЦИИ ИЕРАРХИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ**

Иерархическая кластеризация относится к одному из методов машинного обучения без учителя [1] и может применяться на первом этапе анализа данных некоторой предметной области. При этом данные методы кластеризации позволяют выделять группы схожих объектов с разной степенью близости. В данной работе будет рассмотрен метод агломеративной иерархической кластеризации, основанный на постепенном объединении наиболее близких между собой объектов в группы, которые и называются кластерами. Процесс укрупнения кластеров продолжается до тех пор, пока на последнем этапе все объекты не будут объединены в один общий кластер. Достоинство такой иерархической кластеризации заключается в том, что на начальном этапе анализа, когда исследователю ещё не известна специфика информации об имеющихся объектах, анализ полученной иерархии кластеров позволяет автоматически получать некоторую обобщённую информацию о предметной области. В то время как, например, популярный метод кластеризации К-средних [2] хоть и работает быстрее и использует меньший объём памяти, но требует указания желаемого количества кластеров и распределяет объекты по строго указанному количеству кластеров, что требует от исследователя понимания некоторой специфики предметной области. Также качество кластеризации в алгоритме k-средних зависит от выбора начальных центров кластеров, что тоже требует от исследователя понимания специфики имеющихся данных.

Применение иерархического кластерного анализа является удобным способом начального анализа специфики неизвестной

предметной области, но у этого метода есть ряд своих ограничений. Для анализа данных об  $n$  объектах необходимо сформировать матрицу расстояний между всевозможными парами этих объектов, что потребует хранения  $n(n - 1) / 2$  чисел в памяти. Таким образом алгоритм имеет квадратичную сложность по памяти и линейную сложность по количеству операций. В связи с чем применение методов для обработки больших объёмов данных (при  $n > 10\,000$ ) может быть затруднительным. Ещё больше процесс анализа может затрудняться способом представления результатов кластеризации. Как правило при иерархической кластеризации строится дендрограмма, показывающая иерархию выявленных кластеров. На рисунке приведён пример дендрограммы, на которой отображено около 150 объектов. Дендрограмма построена с помощью библиотеки `scipy.cluster.hierarchy` языка программирования Python. Как видно, уже на таком количестве объектов информативность диаграммы становится низкой и даже определить количество кластеров верхнего уровня становится сложно.



Дендрограмма, демонстрирующая анализ структуры учебной нагрузки кафедры прикладного и системного программирования ВГУ имени П. М. Машерова

В рамках проведённого исследования для применения кластерного анализа на больших объёмах данных строилась распределённая вычислительная система, позволяющая без хранения матрицы расстояний (вместо этого каждый раз проводится повторный расчёт расстояния между парами объектов) провести процесс кластеризации с сохранением результатов кластеризации в документно-ориентированную базу данных (использовалась СУБД MongoDB), при этом на каждом этапе кластеризации поиск ближайших кластеров с вычислением минимального расстояния между всеми парами уже имеющихся кластеров выполнялся на небольшой ГРИД-системе из 12 персональных компьютеров.

Для представления результатов кластеризации была построена дендрограмма с помощью библиотеки, разработанной на языке программирования JavaScript, что позволяет легко интегрировать её в web-приложения. Данная библиотека позволяет строить интерактивную дендрограмму, которая изначально отображает лишь несколько первых уровней иерархии кластеров и разворачивать по мере необходимости остальные уровни иерархии. При этом библиотека позволяет при разворачивании некоторой ветки дендрограммы динамически подгружать необходимые данные с сервера, на котором проводилась сама кластеризация, что позволяет гибко управлять объёмом используемой на клиентской машине памяти и в целом повысить удобство процесса анализа данных с помощью кластерных методов.

### Литература

1. Жамбю М. Иерархический кластер-анализ и соответствия. М.: Финансы и статистика, 1988. 345 с.
2. Arthur D., Vassilvitskii S. How Slow is the k-means Method? // Proceedings of the 2006 Symposium on Computational Geometry (SoCG), June 5–7, 2006. Sedona, Arizona, USA, 2006.

***П.Д. Кузнецова***

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЦЕЛЯХ ВОССОЗДАНИЯ УТРАЧЕННЫХ ИСТОРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Беларусь обладает богатым историческим и культурным наследием. Исторические памятники архитектуры отражают многовековую историю страны. Однако, не всем памятникам удалось сохраниться до наших дней в первоизданном виде, а часть памятников сохранилась только на рисунках и гравюрах. Восстановление утраченных объектов способствует укреплению национальной идентичности и гордости за свою историю. Это важно для формирования патриотических чувств у граждан и привлечения интереса к культуре.

Благодаря современным технологиям компьютерного моделирования и 3d-графики появилась уникальная возможность воссоздать утраченное наследие в цифровом пространстве [1].

Одним из популярных средств создания 3d моделей является программа Blender 3d [2]. Blender предлагает широкий набор инструментов для моделирования, включая: полигональное моделирование, скульптинг, моделирование на основе кривых и поверхностей, использование модификаторов для упрощения работы.

Blender позволяет создавать высококачественные 3D-модели исторических объектов, таких как здания, памятники и другие важные сооружения. Используя инструменты моделирования, можно создавать точные реплики, основываясь на археологических данных, исторических записях и фотографиях. Кроме моделей самих объектов, важно воссоздавать и окружающую среду. Blender позволяет создавать целые исторические сцены, включая ландшафт, окружающие здания и другие элементы.

Помимо этого, в Blender встроен механизм текстурирования. Это особенно важно для воссоздания исторических объектов, так как реалистичное отображение материалов может помочь передать атмосферу и особенности времени. Blender поддерживает разнообразные форматы для импорта и экспорта данных, что позволяет интегрировать модели с другими программными продуктами и платформами.

Таким образом, Blender 3D предоставляет ряду инструментов и возможностей для воссоздания утраченных исторических объектов, что способствует их изучению, пониманию и сохранению для будущих поколений.

### **Литература**

1. *Румянцев М.В., Смолин А.А., Барышев Р.А., Рудов И.Н., Пиков Н.О.* Виртуальная реконструкция объектов историко-культурного наследия // Прикладная информатика. 2011. № 6 (36). С. 62–77.
2. *Болсуновская М.В., Любченкова А.А., Ракова В.В.* Компьютерная графика: Blender 3D: учебное пособие. СПб., 2021.

***Н.В. Астапенко<sup>1</sup>, А.Б. Наскенов, Д.В. Вишняков***

*Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева,  
г. Петропавловск, Казахстан*

<sup>1</sup>SPIN-код: 3458-8319

## **РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕРАКТИВНОГО ОНЛАЙН-КУРСА «ОСНОВЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА» В СОВРЕМЕННОЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ**

В современных образовательных учреждениях, особенно в сфере информационных технологий, возрастает потребность в использовании интерактивных онлайн-курсов для подготовки высококвалифицированных специалистов. Данная статья рассматривает опыт разработки и внедрения интерактивного курса по дисциплине «Основы ИИ», подчеркивая преимущества гибких форм обучения, автоматизации процессов и персонализации контента. В работе приводится SWOT-анализ, демонстрирующий сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и потенциальные угрозы. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейшего развития интерактивных курсов для повышения эффективности и конкурентоспособности образовательных учреждений.

Современная система образования переживает существенные изменения в связи с цифровой трансформацией и развитием дистанционных технологий. Традиционные формы обучения постепенно уступают место смешанным и онлайн-форматам, которые позволяют студентам получать доступ к учебным материалам в удобное время, а преподавателям – эффективно контролировать процесс обучения и предоставлять персонализированную обратную связь.

Особое значение интерактивные решения приобретают при изучении инновационных дисциплин, таких как «Основы искус-

ственного интеллекта» (ИИ). Сложная теоретическая база и быстро меняющиеся тенденции в сфере ИИ требуют гибкого подхода к преподаванию, который обеспечивается использованием актуальных цифровых технологий.

Исследователи в области педагогики и ИТ-образования едины во мнении, что внедрение интерактивных методов обучения способствует [1–2]:

- повышению мотивации за счет динамичной подачи материала;
- углублению понимания за счет применения теории на практике;
- развитию навыков самостоятельного поиска и анализа информации.

Согласно принципам активного обучения, студенты лучше усваивают материал, когда непосредственно вовлечены в процесс, выполняют практические задания, решают кейсы и участвуют в дискуссиях. В контексте компьютерных технологий это может означать интерактивные симуляции, виртуальные лаборатории, адаптивное тестирование и геймификацию.

Главной целью разработки интерактивного онлайн-курса по дисциплине «Основы ИИ» является создание гибкой образовательной среды, которая:

- Обеспечивает высокий уровень вовлеченности за счет мультимедийных и интерактивных форматов контента.
- Автоматизирует рутинные процессы, включая оценку знаний и предоставление индивидуальных рекомендаций.
- Способствует формированию у студентов компетенций, востребованных на современном рынке труда.

Структура интерактивного онлайн-курса представлена на рисунке.

Для оценки необходимости разработки интерактивного курса по примеру дисциплины «Основы ИИ» был проведен SWOT-анализ, который позволил выявить сильные и слабые стороны проекта, а также определить потенциальные возможности и угрозы.

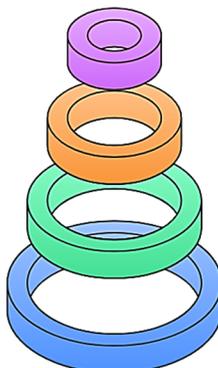
- Форум и обратная связь** 

Обсуждения для построения сообщества единомышленников
- Онлайн-тестирование** 

Быстрое выявление пробелов в знаниях
- Практические задания** 

Реальные проекты для применения технологий ИИ
- Мультимедийные материалы** 

Инструменты для глубокого понимания алгоритмов ИИ



Структура интерактивного онлайн-курса

## SWOT-анализ внедрения интерактивного курса «Основы ИИ»

Категория	До внедрения интерактивного курса	После внедрения интерактивного курса
Сильные стороны (Strengths)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Качественная программа и опытные преподаватели, но ограниченное использование современных технологий.</li> <li>2. Традиционная система обучения с проверенными методами</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Внедрение ИИ для персонализации обучения.</li> <li>2. Удобный доступ к материалам и автоматизированная проверка знаний.</li> <li>3. Повышение мотивации студентов благодаря интерактивным элементам</li> </ol>
Слабые стороны (Weaknesses)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недостаток цифровых инструментов.</li> <li>2. Ограниченная возможность адаптации под индивидуальные потребности</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Необходимость существенных инвестиций в разработку и обучение персонала.</li> <li>2. Потенциальные сложности при интеграции нового метода в существующую учебную среду</li> </ol>
Возможности (Opportunities)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Расширение образовательных услуг за счет онлайн-курса.</li> <li>2. Использование современных технологий для повышения качества обучения</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Привлечение новой аудитории благодаря гибкому формату обучения.</li> <li>2. Развитие партнерств с технологическими компаниями</li> </ol>
Угрозы (Threats)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Конкуренция со стороны образовательных платформ, использующих передовые технологии.</li> <li>2. Ограниченность ресурсов для внедрения новых IT-решений</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Угрозы, связанные с безопасностью данных студентов и конфиденциальностью.</li> <li>2. Технические сбои и сложности при обслуживании инфраструктуры</li> </ol>

По результатам анализа сделан вывод, что сильные стороны и возможности значительно превышают потенциальные риски и слабые стороны. Разработка интерактивного онлайн-курса не только оптимизирует процесс обучения, но и положительно сказывается на имидже образовательного учреждения, повышая его конкурентоспособность. Опираясь на результаты SWOT-анализа, реализация интерактивного курса «Основы ИИ» дает следующие преимущества:

Студенты могут осваивать материал в удобном для себя темпе и в любое время, что способствует лучшему усвоению теоретического материала.

– Использование геймификации, мультимедийных заданий и виртуальных симуляций повышает интерес к дисциплине и удерживает внимание обучающихся.

– Благодаря автоматизации образовательных процессов, сокращение нагрузки на преподавателей и ассистентов позволяет им уделять больше времени индивидуальной работе и научному консультированию.

– Использование алгоритмов ИИ в учебных платформах помогает адаптировать задания под уровень знаний и стиль обучения каждого студента.

Разработка и внедрение интерактивного курса «Основы ИИ» отражают насущную потребность образовательных учреждений в современном подходе к обучению. Полученный опыт и результаты могут послужить основой для внедрения интерактивных курсов и в других дисциплинах, укрепляя связь образования с практическими потребностями рынка.

### **Литература**

1. *Freeman S., Eddy S.L., McDonough M., Smith M.K., Okoroafor N., Jordt H., Wenderoth M.P.* Active Learning Increases Student Performance in Science, Engineering, and Mathematics // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014. Vol. 111, no. 23. P. 8410–8415.
2. *Кошелева О.И.* Возможности применения активных методов обучения в профессиональных образовательных организациях // *Наука – образование – производство: Опыт и перспективы развития: сборник материалов XIV Международной научно-технической конференции*. 2018. Т. 2. С. 110–115.
3. SWOT-анализ: теория и практика. URL: [http://powerbranding.ru/marketing\\_lessons/swot-analisyis](http://powerbranding.ru/marketing_lessons/swot-analisyis).

***Н.В. Астапенко<sup>1</sup>, В.А. Савинков***

*Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева,  
г. Петропавловск, Казахстан*

<sup>1</sup>SPIN-код: 3458-8319

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПУТЕВОДИТЕЛЯ ПО СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОМУ УНИВЕРСИТЕТУ ИМЕНИ М. КОЗЫБАЕВА**

В эпоху цифровизации образовательные учреждения стремятся предоставить всем участникам учебного процесса – студентам, преподавателям и абитуриентам – быстрый и удобный доступ к актуальной информации. Университеты, не обладающие простыми и понятными онлайн-инструментами для поиска нужных аудиторий, контактов преподавателей, расписания и другой актуальной информации, подвергаются рискам снижения удовлетворенности студентов и снижения имиджа учебного заведения. Проблема особенно заметна среди новичков, которые только начинают знакомиться с университетом.

В Северо-Казахстанском университете функционирует web-портал со сложной информационной структурой и большим количеством сервисов. Для упрощения ориентации студентов в информационном поле, было решено создать мобильное приложение, которое будет парсить наиболее важную информацию для студентов и предоставлять ее в упрощенном виде. Предлагаемый путеводитель в виде мобильного приложения позволит:

– Повысить информационную доступность за счет единой точки входа для получения сведений о расписании, оценках, мероприятиях и других аспектах учебной жизни.

– Улучшит взаимодействие с пользователями с помощью чата с ботом и формы обратной связи, обеспечивая быстрый отклик на запросы студентов и абитуриентов.

– Будет гарантировать мгновенный доступ к основным данным об учебном процессе, включая расписание, экзаменационные сессии, факультативы и прочие события.

– Повысит эффективность внутренней коммуникации между студентами, преподавателями и административным персоналом.

Проектирование приложения подразумевает проработку структуры данных и взаимодействие ключевых сущностей. На рис. 1 приведена диаграмма классов, иллюстрирующая основные объекты и связи между ними.

Главная страница приложения призвана стать центральной точкой входа в систему, объединяющую расписание, сведения об университете и контактную информацию. Прототип главной страницы представлен на рис. 2.

При этом ключевым элементом становится удобная навигация, позволяющая первокурсникам и гостям быстро ориентироваться на территории университетского городка.

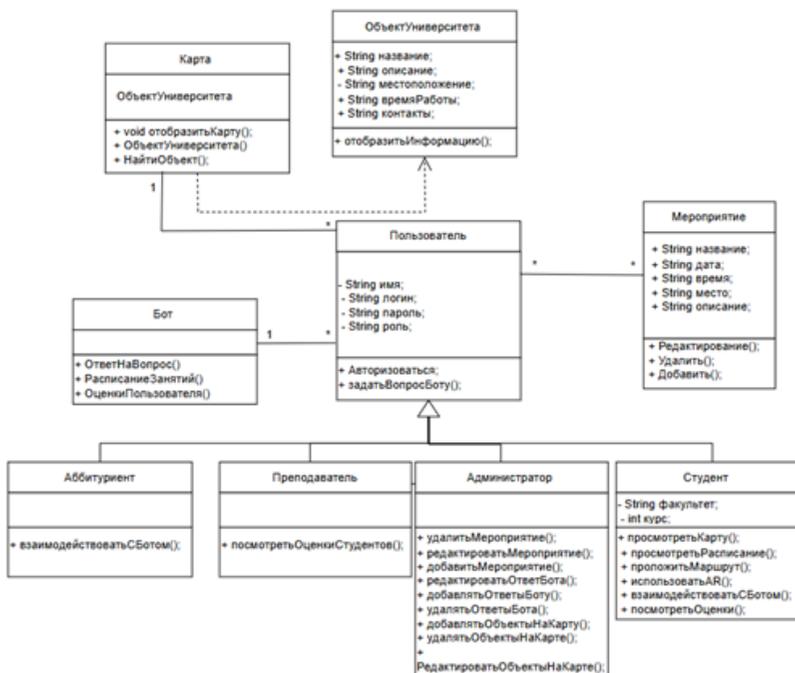


Рис. 1. Диаграмма классов системы web-путеводитель

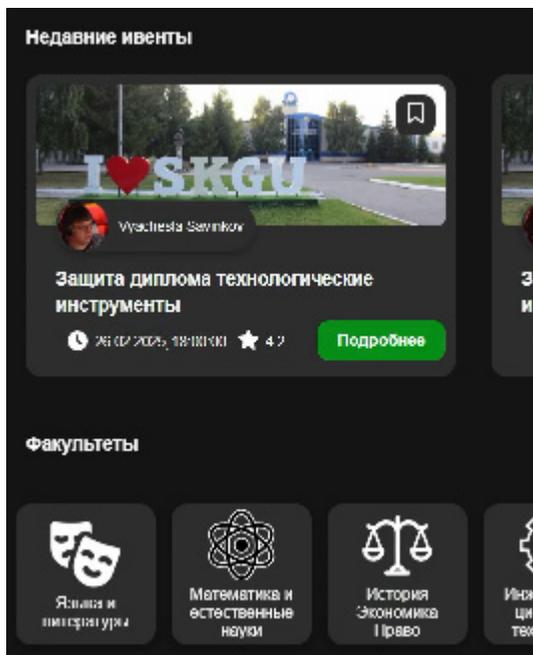


Рис. 2. Главная страница сайта

Особенностью данного мобильного приложения можно назвать страницу с картами. На странице с картами реализована функция навигации по корпусам, аудиториям и дополнительным точкам интереса (столовые, библиотеки, спортивные комплексы и т.д.), что позволяет студентам легко находить нужное место и прокладывать кратчайший маршрут.

Для оперативного решения вопросов студентов и абитуриентов разработан чат-бот. Пользователю достаточно задать вопрос в онлайн-режиме, чтобы получить ответ по расписанию, датам мероприятий, контактам преподавателей и другим запросам. Также, в персональном кабинете каждый студент получает доступ к своим оценкам, обновленному расписанию и уведомлениям о предстоящих событиях. Преподаватели могут быстро вносить изменения в расписание, формировать списки студентов и публиковать материалы для занятий.

Проектирование путеводителя по университету – необходимый элемент цифровой трансформации образовательного учреждения. Предложенное решение обеспечивает комфортную навигацию, автоматизирует рутинные задачи и повышает уровень удовлетворенности студентов и преподавателей. В перспективе дальнейшего развития планируется добавить данные о преподавателях, аудиториях, факультетах и дополнительных ресурсах, а также интегрировать раздел с часто задаваемыми вопросами и другими сервисами, ориентированными на улучшение учебного процесса.

### **Литература**

1. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон И. Язык UML. Руководство пользователя. 2-е изд.: пер. с англ. Н. Мухин. М.: ДМК Пресс. 496 с.

***Н.В. Астапенко<sup>1</sup>, И.К. Степанов, Е.С. Леонтьев***

*Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева,  
г. Петропавловск, Казахстан*

<sup>1</sup>SPIN-код: 3458-8319

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ С ФУНКЦИЕЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ МЕБЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ**

В эпоху динамичной цифровой трансформации компании неизбежно сталкиваются с необходимостью интеграции инновационных решений для повышения эффективности и удовлетворения потребностей клиентов. К 2025 году мобильные приложения становятся одним из ключевых инструментов взаимодействия с потребителями, обеспечивая им удобство, персонализированные рекомендации и круглосуточный доступ к информации. Особенно это важно для мебельной отрасли, где визуализация товара непосредственно в интерьере покупателя способна существенно влиять на процесс принятия решения о покупке.

Компания SVD MEBEL, специализирующаяся на продаже мебели, рассматривает внедрение мобильного приложения с функцией дополненной реальности (AR) как стратегический шаг, повышающий ее конкурентоспособность. В данной статье мы проектируем мобильное приложение с применением AR-технологий на примере SVD MEBEL, описываем ключевые этапы взаимодействия пользователей с приложением и оцениваем влияние данного решения на бизнес-показатели мебельной компании.

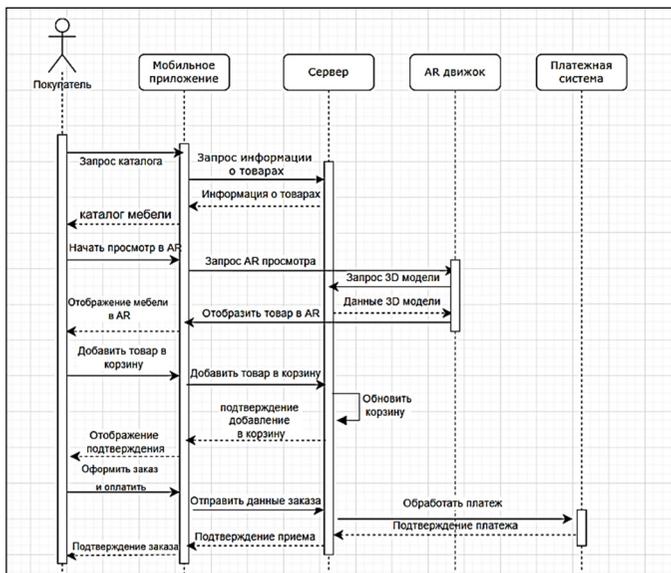
Мобильные приложения с поддержкой AR позволяют в реальном времени «накладывать» виртуальные объекты на окружающий мир. Для мебельного сектора это означает, что потенциальные покупатели могут визуализировать понравившуюся мебель непосредственно в своем жилом пространстве, оценивая ее габариты, стиль и цветовые сочетания. Такой подход облегчает принятие решения о покупке, повышает точность выбора и снижает риск возврата товара.

Разработка AR-приложения для мебельной сферы обеспечивает следующие преимущества:

- Клиент получает возможность увидеть понравившуюся модель мебели «на месте», выбирая идеальный вариант в соответствии с интерьером.
- При желании пользователь может изменять цвет, фактуру и другие характеристики в режиме реального времени.
- Мобильное приложение доступно в любом месте и в любое время, что повышает лояльность клиентов и формирует положительный пользовательский опыт.

Внедрение таких инструментов сокращает потребность в телефонных консультациях и физическом присутствии в магазине, высвобождая ресурсы для более эффективной коммуникации с потребителями, которые действительно нуждаются в детальной поддержке.

Для иллюстрации процесса взаимодействия приведена упрощенная диаграмма деятельности (рис.), отражающая ключевые этапы работы пользователя с мобильным приложением SVD MEBEL.



Процесс взаимодействия покупателя с мобильным приложением

Использование современных технологий, таких как AR, положительно скажется на репутации компании SVD МЕБЕЛ. В условиях высокой конкуренции такая стратегия играет важную роль в удержании существующих клиентов и привлечении новых.

Сбор данных об интересах и предпочтениях пользователей позволит предложить персонализированные рекомендации. Перспективы дальнейшего развития включают интеграцию приложений с системами умного дома, совершенствование AR-эффектов (например, более реалистичная визуализация материалов), а также использование алгоритмов искусственного интеллекта для еще более точного прогноза предпочтений клиентов.

### **Литература**

1. *Кириллов Д.* Тренды маркетинга: технологии VR/AR виртуальной и дополненной реальности. 2019. URL: <https://exiterra.ru/blog/marketing-blog/tekhnologii-vr-ar/>.
2. *Воронова М., Павлова А.* Диаграммы последовательности – простой способ управления процессами для аналитиков. 2024. URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/sequence-diagram/>.

**С.М. Задоркин, Н.А. Борсук<sup>1</sup>**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
(Калужский филиал), г. Калуга, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 5316-8493

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИКИ ВИРТУАЛЬНОГО СКРОЛЛА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ**

В современных пользовательских интерфейсах, особенно в приложениях и веб-страницах, содержащих обширные списки данных, часто наблюдаются проблемы, связанные с производительностью [1]. Эти проблемы проявляются в виде замедленной загрузки контента, задержки при прокрутке компонента, а также увеличенного потребления оперативной памяти, что негативно сказывается на общем пользовательском опыте.

При анализе вопросов реализации проекта «Цифровой Двойник Города» возникла следующая проблема: при первичном рендеринге таблицы, содержащей значительное количество строк (3000 и более) и столбцов (более 6), наблюдается зависание всего интерфейса, которое длилось более 5 секунд. Это явление обусловлено высокой нагрузкой на процессор, который должен обработать большие объемы данных и сформировать визуальное представление таблицы. В предлагаемом тезисе рассматривается решение данной проблемы с помощью техники виртуального скролла.

Виртуальный скролл (или виртуальная прокрутка) – это паттерн пользовательского интерфейса, используемый для оптимизации отображения длинных списков данных или огромных объемов контента в веб-приложениях и мобильных приложениях [2]. Он работает по принципу динамической загрузки и отображения только тех элементов, которые находятся в видимой области экрана, при этом элементы, находящиеся за пределами этой

области, не рендерятся и не загружаются до тех пор, пока не понадобятся. На листинге 1 представлен код, реализующий обсуждаемый в тезисе паттерн:

Листинг 1

### Реализация виртуального скролла на JavaScript

```
const container = document.getElementById('scroll-
container');
const itemsContainer = document.getEle-
mentById('items-container');
const totalItems = 10000;
const itemHeight = 30;
const visibleCount = Math.ceil(container.clie-
ntHeight / itemHeight);
container.style.position = 'relative';
itemsContainer.style.height = `${totalItems * item-
Height}px`;
const renderItem = (start, end) => {
  itemsContainer.innerHTML = '';
  for (let i = start; i < end; i++) {
    const item = document.createElement('div');
    item.className = 'item';
    item.textContent = `Элемент #${i + 1}`;
    itemsContainer.appendChild(item);
  }
};
const onScroll = () => {
  const scrollTop = container.scrollTop;
  const startIndex = Math.floor(scrollTop / item-
Height);
  const endIndex = startIndex + visibleCount;
  renderItem(startIndex, Math.min(endIndex, to-
talItems));
};
renderItem(0, visibleCount);
container.addEventListener('scroll', onScroll);
```

Структура и стили HTML-документа являются основополагающими, но не требуют детального анализа для понимания работы модуля виртуального скролла. В данной реализации пер-

воначально производится расчет количества элементов, находящихся в зоне видимости, на основании высоты скроллируемого контейнера и высоты одного отдельного элемента списка.

Функция `renderItems` отвечает за рендеринг элементов внутри указанного контейнера. Она принимает два параметра: начальный и конечный индексы, что позволяет отображать только те элементы, которые находятся в пределах видимости, тем самым оптимизируя использование ресурсов. При прокрутке контейнера с событием прокрутки иницируется функция `onScroll`, которая производит расчет необходимых индексов элементов для отображения и вызывает `renderItems` для их отрисовки. Эта архитектура обеспечивает эффективное управление рендерингом большого объема данных, минимизируя нагрузку на производительность интерфейса.

При применении виртуального скролла компонент рендерится процессором за доли секунды. Это достигается путем снижения количества строк таблицы, которые необходимо обработать и отобразить пользователю.

Таким образом, в результате оптимизации производительности пользовательского интерфейса была устранена проблема зависания, продолжительность которой составляла более 5 секунд на различных компьютерах при первичном рендеринге высоконагруженного компонента. Временной интервал рендеринга был значительно сокращен до 0,3 секунды, что сделало процесс отрисовки таблицы незаметным для пользователя.

## Литература

1. *Винтайкина Д.А.* Проблемы эффективности интерфейсов программных систем // E-Scio. 2023.
2. *Илюшечкин Е.А., Молодых И.С.* Оптимизация веб-интерфейса на стороне клиента для работы с табличными данными // Математические структуры и моделирование. 2013. №. 2 (28). С. 80–87.

**С.А. Филатов, Д.Т. Мушкамбарян, Н.А. Борсук<sup>1</sup>**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
(Калужский филиал), г. Калуга, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 5316-8493

## **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ**

Современные образовательные учреждения сталкиваются с рядом сложностей при составлении и обновлении расписания занятий. Среди ключевых проблем можно выделить необходимость учета четных и нечетных недель, распределение занятий по различным корпусам, а также удобный поиск преподавателей. Автоматизированные системы управления расписанием способны значительно снизить трудоемкость этого процесса, повысить точность составления и упростить доступ к актуальной информации для студентов и преподавателей.

Из существующих примеров автоматизации в России можно отметить систему Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», которая предоставляет возможности поиска по преподавателям и дисциплинам. В противовес этому, система «Мой МГТУ» использует JSON файлы для хранения расписания. Такое решение оказывается неэффективным из-за ограничений JSON в работе с большими объемами данных, замедленной обработки запросов и отсутствия поддержки сложных запросов. В результате, было принято решение о разработке базы данных для расписания с целью улучшения масштабируемости, увеличения скорости доступа к данным, обеспечения возможности выполнения сложных запросов и упрощения интеграции с другими системами управления вуза.

Для разработки веб-приложения управления расписанием были выбраны следующие технологии: клиентская часть – React, Vite, Chakra UI, Material UI, которые обеспечивают высокую скорость работы, адаптивный интерфейс и удобство взаимодействия; серверная часть – Go (Golang) с фреймворком Gin, что га-

рантирует высокую производительность, обработку множества запросов и безопасность данных; база данных – MongoDB, документно-ориентированная база, обеспечивающая гибкость хранения данных и масштабируемость.

При создании системы возникли следующие трудности: учет четных и нечетных недель в расписании, автоматизированная обработка файлов Excel с расписанием, поддержка многопользовательского доступа и синхронизация данных, интеграция с внешними системами авторизации, создание удобного поискового механизма для преподавателей и групп.

Внедрение автоматизированной системы позволяет значительно сократить время на составление и корректировку расписания. По данным исследования, автоматизация процесса составления расписания снижает трудозатраты за счет уменьшения ручного ввода данных и автоматического распределения занятий по временным слотам и аудиториям. Оптимизация расписания также способствует более эффективному использованию ресурсов вуза, снижая количество пересечений и накладок в расписании, что повышает общую эффективность управления учебным процессом.

Разработка веб-приложения для управления расписанием учебных занятий решает актуальные проблемы вуза, связанные с составлением, обновлением и доступностью расписания. Использование современных технологий позволяет создать удобный, надежный и гибкий инструмент для студентов и преподавателей.

В дальнейшем возможно расширение функционала, интеграция с другими образовательными платформами и внедрение алгоритмов машинного обучения для оптимизации расписания.

## Литература

1. Толстых Е.С., Толстых А.А. Автоматизация составления расписания в системе управления учебным процессом // Территория науки. 2014. № 1. С. 41–48. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-sostavleniya-raspisaniya-v-sisteme-upravleniya-uchebnym-protsessom>
2. Козлов А.В. Цифровизация обучения студентов технических специальностей // Современное педагогическое образование. 2022. № 10. С. 201–205. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-obucheniya-studentov-tehnicheskikh-spetsialnostey>.
3. Филдс Р.Т., Харрисон Дж. RESTful API: проектирование и реализация. СПб.: Питер, 2020. 320 с.

**В.Д. Дементьев, Н.А. Борсук<sup>1</sup>**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
(Калужский филиал), г. Калуга, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 5316-8493

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО РЕСУРСА ПРОГРАММЫ-СИСТЕМАТИЗАТОРА ХРОНОЛОГИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ**

Хронологическое представление информации позволяет структурировать события и увидеть их в четкой временной последовательности, что особенно важно, например, в таких сферах, как управление проектами и личные записи [2].

Создание цифрового ресурса, который объединяет события и позволяет пользователям добавлять, редактировать и управлять временными последовательностями, предоставляет новые возможности для управления и анализа информации.

Ключевые особенности проекта:

1. Возможность авторизации и регистрации на сайте.
2. Создание хронологии событий по различным предметным областям (события из жизни, история организации, предприятия, проекта и т. д.).
3. Возможность создавать события, указывать точную дату и время, добавлять словесное описание, фотографии, видео, документы.
4. Сохранение хронологий в профиле пользователей.
5. Просмотр хронологий с возможностью обращения к любому событию и связанным с ним файлам.
6. Возможность редактирования хронологической последовательности, добавление новых событий и изменение существующих.

Сравнение существующих хронологических ресурсов показывает, что большинство из них ограничены отсутствием хронологической структуры, недостаточной поддержкой мультиме-

дийных данных и невозможностью адаптировать информацию для профессиональных целей.

Предлагаемый ресурс объединяет функции, которых недостает большинству аналогов, и включает возможности для создания хронологий, которые можно легко адаптировать как для личных, так и для профессиональных задач.

Разрабатываемое решение, предназначенное для создания и редактирования хронологий событий, представляет собой приложение архитектуры клиент-сервер. Основные компоненты:

1. Клиентская часть (Frontend): клиентская часть представляет собой интерфейс, с которым взаимодействует пользователь. Она отвечает за отображение данных, отправку запросов к серверу и обработку ответов.

2. Серверная часть (Backend): серверная часть обеспечивает основную логику приложения, обработку запросов от клиентов, управление данными и взаимодействие с базой данных.

3. База данных: база данных используется для хранения всех данных, связанных с системой, включая информацию о пользователях, хронологиях событий и мультимедийных материалах.

Разработка веб- и мобильного приложения для ведения хронологий требует продуманного подхода к архитектуре системы, выбору технологий и обеспечению удобства взаимодействия пользователей [1]. Ниже приводится описание ключевых особенностей реализации такого приложения.

Для создания веб-версии ресурса использован стек технологий, включающий React и JavaScript. React предоставляет эффективный инструмент для создания пользовательских интерфейсов, благодаря своей компонентной структуре и оптимизации рендеринга. JavaScript обеспечивает взаимодействие с серверной частью и обработку данных, что критически важно для динамического отображения событий в хронологии.

Для хранения данных использован PostgreSQL – реляционная база данных с мощными возможностями для работы с большими объемами данных.

Ant Design был выбран для создания пользовательского интерфейса. Этот компонентный набор предоставляет множество

готовых решений, которые ускоряют процесс разработки и позволяют сконцентрироваться на логике работы приложения.

Saracitor, который использован при разработке, позволяет разрабатывать кроссплатформенные приложения для iOS и Android, что делает его идеальным выбором для реализации мобильной версии хронологического ресурса.

Использование JWT (JSON Web Token) для управления сессиями пользователей позволяет обеспечить надежную аутентификацию и авторизацию.

Разработка пользовательского ресурса хронологических событий требует комплексного подхода, включающего фронтенд, бэкенд, базы данных и облачные хранилища. Основные сложности связаны с обработкой медиафайлов, оптимизацией работы с базами данных и синхронизацией данных между веб- и мобильной версиями. Решение этих задач обеспечит удобный и надежный сервис для управления хронологией событий.

## **Литература**

1. *Микрюков А.А., Бабаиш А.В., Сизов В.А.* Классификация событий в системах обеспечения информационной безопасности на основе нейросетевых технологий // Открытое образование. 2019. № 1. С. 57–63. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-sobytiy-v-sistemah-obespecheniya-informatsionnoy-bezopasnosti-na-osnove-neyrosetevyh-tehnologiy>.
2. *Гуфан К.Ю., Сергеев Д.В.* Реализация алгоритма фиксации времени для соблюдения хронологии при записи сетевых данных // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 2. С. 237–242. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-algoritma-fiksatsii-vremeni-dlya-soblyudeniya-hronologii-pri-zapisi-setevyh-dannyh>.

**П.А. Сарваль, Н.А. Борсук<sup>1</sup>**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
(Калужский филиал), г. Калуга, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 5316-8493

## **ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ЗАДАЧ**

Веб-приложения для планирования и анализа задач помогают организовывать работу, управлять временем и повышать продуктивность. Они позволяют пользователям создавать и структурировать задачи, устанавливать дедлайны, расставлять приоритеты и отслеживать выполнение. Многие такие сервисы поддерживают работу в команде, позволяя распределять обязанности, добавлять комментарии и получать уведомления о статусе задач [2].

Большинство таск-менеджеров ограничены фиксированными статусами, неудобными уведомлениями и устаревшей авторизацией. Предлагаемое приложение предлагает гибкие задачи, систему ролей, безопасную аутентификацию и интеграции, обеспечивая удобную работу как для отдельных пользователей, так и для команд [1].

Ключевые особенности проекта:

1. Авторизация и регистрация – пользователи могут создавать аккаунты, входить в систему и получать доступ к персонализированному рабочему пространству.

2. Создание задач – возможность добавления новых задач, установки дедлайнов, приоритетов и статусов выполнения.

3. Создание досок задач – пользователи могут организовывать задачи по различным категориям или проектам для удобного управления рабочим процессом.

4. Делегирование задач – возможность назначения исполнителей, отслеживания статуса выполнения и ведения обсуждений в комментариях.

5. Анализ в виде диаграмм – встроенная аналитика позволяет визуализировать прогресс выполнения задач, оценивать продуктивность и выявлять проблемные места.

6. Гибкие уведомления – напоминания о дедлайнах через email, push-уведомления или webhooks.

Разрабатываемое веб-приложение для планирования и анализа задач основано на архитектуре клиент-сервер, обеспечивая эффективное управление рабочими процессами.

Создание приложения требует продуманной архитектуры и современных технологий, обеспечивающих удобство и безопасность работы. Гибкая система уведомлений предоставляет различные каналы оповещений, а использование JWT и ролевой модели доступа гарантирует надежную аутентификацию и защиту данных. Все это делает приложение эффективным инструментом как для личного планирования, так и для командного управления задачами.

В качестве основного языка программирования выбран TypeScript, который благодаря статической типизации снижает количество ошибок, упрощает рефакторинг и делает код предсказуемым. В отличие от JavaScript, он улучшает масштабируемость и интеграцию с редакторами. В связке с React обеспечивает надежные и гибкие интерфейсы.

Для хранения данных выбран PostgreSQL – реляционная база данных, обеспечивающая хранение данных, поддержку сложных SQL-запросов, транзакций и масштабируемость.

Для надежной аутентификации и контроля доступа важно использовать эффективный метод идентификации. Хранение сессий на сервере может усложнять масштабирование, поэтому применяется JWT – безопасный и удобный способ передачи данных между клиентом и сервером.

При создании приложения необходимо учитывать производительность, безопасность и удобство использования. Важно разработать оптимизированную архитектуру, обеспечивающую стабильную работу даже под высокой нагрузкой. Надежные методы аутентификации защищают данные от несанкционированного доступа, а интуитивно понятный интерфейс, адаптированный для разных устройств, делает взаимодействие с системой удобным.

Все эти факторы критически важны для создания эффективного и надежного продукта.

### **Литература**

1. *Беседин О.А., Пюра П.К.* Проектирование планировщика задач на основе искусственного интеллекта // Вестник науки. 2024. Т. 3, № 6 (75). С. 1324–1329. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-planirovschika-zadach-na-osnove-iskusstvennogo-intellekta> (дата обращения: 12.02.2025).
2. *Короходкина Ю.И., Гагарина С.Н.* Современные методы управления проектами // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 1-2 (83). С. 38–42. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-metody-upravleniya-proektami-1> (дата обращения: 12.02.2025).

**Я.В. Яковенко, Н.А. Борсук<sup>1</sup>**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
(Калужский филиал), г. Калуга, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 5316-8493

## **ИНДЕКС СОГЛАСОВАННОСТИ ОБОБЩЕНИЯ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ С УЧЁТОМ АДАПТИВНОЙ КОРРЕКТИРОВКИ ОШИБОК**

Индекс согласованности обобщения для линейных моделей представляет собой усовершенствованный метод оценки обобщающей способности, который основан на расчёте относительной разницы между ошибками на обучающей и отложенной выборках, интегрированной с мерой стабильности оценки через логарифмическую корректировку. Такой подход позволяет точнее диагностировать переобучение модели, адаптивно учитывая статистическую изменчивость результатов без значительного увеличения вычислительной нагрузки [1, с. 2].

Проблема переобучения является одной из ключевых в построении моделей машинного обучения. Линейные модели, благодаря своей вычислительной эффективности и интерпретируемости, широко используются в различных прикладных задачах, однако их способность к обобщению часто страдает из-за чрезмерной адаптации к обучающей выборке. Традиционные метрики, основанные лишь на сравнении ошибок между обучающей и отложенной выборками, не всегда адекватно отражают реальное качество модели, поскольку не учитывают влияние случайной изменчивости данных. Для более объективной оценки обобщающей способности необходимо рассматривать не только абсолютное различие ошибок, но и стабильность этой оценки на отложенной выборке, что и лежит в основе предложенного метода.

Новизна данной работы заключается в разработке индекса, который объединяет относительную разницу ошибок между обучающей и отложенной выборками с мерой стабильности, выра-

женной через стандартное отклонение ошибок, корректируемое логарифмической функцией. Вместо того чтобы анализировать только абсолютное отличие, предлагаемый индекс учитывает соотношение этой разницы к общей величине ошибки на отложенной выборке и адаптивно корректируется в зависимости от дисперсии ошибок [2, с. 5].

Для заданной линейной модели рассматриваются следующие величины:

- $E_{\text{train}}$  – ошибка модели на обучающей выборке (например, среднеквадратичная ошибка, MSE);
- $E_{\text{test}}$  – ошибка модели, вычисленная по отложенной выборке;
- $\sigma_{\text{test}}$  – стандартное отклонение ошибок, полученных при разбиении отложенной выборки на несколько блоков;
- $\varepsilon$  – малое положительное число, предотвращающее деление на ноль.

Основная идея состоит в том, чтобы нормировать разницу между ошибками с учётом стабильности оценки. Для этого предлагается вычислять **Индекс согласованности обобщения (ИСО)** по формуле:

$$\text{ИСО} = (E_{\text{test}} - E_{\text{train}}) \times \left[ 1 + \ln \left( 1 + \frac{\sigma_{\text{test}}}{E_{\text{test}} - \varepsilon} \right) \right].$$

Таким образом, предложенный индекс объединяет два аспекта оценки качества модели – абсолютное отличие ошибок и стабильность оценки, что позволяет более точно определить степень переобучения.

Выбор логарифмической функции в качестве корректирующего механизма обусловлен её математическими и статистическими свойствами. Прежде всего, она нормализует дисперсию ошибки на отложенной выборке, позволяя учесть относительную изменчивость предсказаний. Это важно, так как абсолютные значения ошибок могут зависеть от масштаба данных, а логарифмическое преобразование помогает сделать индекс более стабильным и интерпретируемым. Кроме того, логарифм сглаживает влияние изменчивости: при малых значениях дисперсии корректирующий множитель остаётся близким к единице, минимизируя

его влияние, а при значительных колебаниях он увеличивается, сигнализируя о нестабильности модели [3, с. 3].

Такой подход особенно актуален в условиях, когда объем данных ограничен или распределение ошибок отличается высоким уровнем неоднородности. Методика может служить полезным инструментом для специалистов по машинному обучению, позволяя своевременно корректировать модель и предотвращать переобучение.

### **Литература**

1. *Краснов Ф.В.* Выявление ошибок разметки данных с помощью моделей классификации для небольших наборов данных // International Journal of Open Information Technologies. 2023. Vol. 11, no. 5. 54–62 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vyyavlenie-oshibok-razmetki-dannyh-s-pomoschyu-modeley-klassifikatsii-dlya-nebolshih-naborov-dannyh> (дата обращения: 18.01.2025).
2. *Чернавин П.Ф., Чернавин Н.П., Чернавин Ф.П.* Управление качеством решающего правила и минимизация числа признаков в задачах классификации на основе моделей математического программирования // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2023. № 1 (61). С. 112–119. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-kachestvom-reshayuschego-pravila-i-minimizatsiya-chisla-priznakov-v-zadachah-klassifikatsii-na-osnove-modeley> (дата обращения: 18.01.2025).
3. *Чернавин П.Ф., Чернавин Н.П., Чернавин Ф.П.* Оптимизационные модели подбора параметров технологических процессов на основе результатов машинного обучения // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2023. № 2 (30). С. 45–56. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsionnye-modeli-podbora-parametrov-tehnologicheskikh-protseessov-na-osnove-rezultatov-mashinnogo-obucheniya> (дата обращения: 30.01.2025).

*Д.В. Пекишев*

*Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия*

## **АВТОРСКАЯ РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ**

В современном цифровом обществе данные стали очень ценным активом. Объем данных постоянно расширяется, поэтому ставятся важные задачи по созданию надежных методов хранения и обработки большого количества цифровой информации. В таких базах данных информация имеет определенную структуру и систему хранения, что позволяет эффективно управлять ими, быстро и легко получать доступ к необходимым данным и обслуживать сразу много клиентов [1]. Для всего этого необходима возможность совершать быстрый поиск по данным.

Была разработана собственная СУБД с высокой скоростью поиска данных. При индексации каждому файлу присваивается индекс, который дописывается в конец каждой строки в этом файле. Потом все файлы объединяются в один и распределяются по нескольким кластерам, каждый из которых сохраняется в виде отдельного файла. И если файл имеет название X, то все строки в нём будут начинаться на X. Когда для очередной строки выбирается кластер, в который её нужно поместить, среди всех подходящих кластеров берется тот, который имеет самое длинное название. Следовательно, при дальнейшем поиске достаточно будет искать поисковый запрос всего в одном кластере.

В начале программы определяется минимальный и максимальный размер файла. Если после очередной итерации размер кластера превышает максимальный размер, то файл разбивается на несколько частей. Если размер становится меньше минимального, то несколько кластеров сливаются в один. В ходе таких преобразований можно относительно быстро распределить по разным файлам несколько терабайт файлов, не выходя при этом за пределы оперативной памяти. После этого каждый кластер сор-

тируется по алфавиту без учёта регистра. В результате таких действий получается распределение данных по структуре префиксного дерева. После выполнения этих действий по проиндексированной базе данных можно выполнять быстрый поиск. Для его реализации необходимо по началу искомой строки определить файл, в котором находятся данные, а затем выполнить бинарный или интерполяционный поиск в пределах этого файла.

### **Литература**

1. *Стружкин Н.П., Годин В.В.* Базы данных: проектирование: учебник для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2019. 477 с.

**О.В. Никитин, П.Е. Овчинников<sup>1</sup>**

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
г. Нижний Новгород, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 1335-2905

## **МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ**

При логическом объединении устройств в сеть часто возникает задача синхронизации часов, входящих в состав данных устройств. Если устройства подключены к локальной вычислительной сети, то для решения задачи синхронизации часов используются сетевые протоколы синхронизации времени: NTP, PTP [1] и другие. В данной работе рассматривается макетная модель системы синхронизации времени через радиоканал без использования каких-либо компьютерных сетей. Схожая задача решается в системе TWSTFT [2]. Такая система синхронизации может быть использована для синхронизации часов, находящихся на значительном удалении друг от друга, в том числе на космических аппаратах.

Для построения разрабатываемой системы синхронизируемые устройства должны обладать двусторонним радиоинтерфейсом для передачи и приёма радиосигналов, коррелятором для демодуляции, декодирования и уточнения времени прихода меток и вычислителем временных задержек по меткам времени (микроконтроллером). Так же как и в сетевых протоколах, метод синхронизации основывается на предположении о постоянстве времени передачи сигналов между синхронизируемыми устройствами. По крайней мере, за время проведения синхронизации задержки не должны изменяться значительно, поскольку от этого зависит точность синхронизации.

В модели разрабатываемой системы для передачи по радиоканалу используются устройства программно определяемого радио (SDR), а вычисления проводятся на ЦПУ ПК. Такая модель необходима на этапе проектирования системы для определения требований к радиотехническим параметрам приёмо-передаю-

щей аппаратуры, требований к вычислителям и требований к системе временной синхронизации внутри станции.

Проведён полунатурный эксперимент по синхронизации часов на удалённых станциях, обменивающихся сигналами синхронизации по радиочастотному каналу. Эксперимент состоял в построении двух станций (персональных компьютеров), снабженных устройствами SDR. Станции снабжены специальным программным обеспечением (СПО). На синхронизируемой станции сигнал, содержащий метки времени для синхронизации, формируется программным образом, затем передаётся на устройство SDR для отправки в эфир. На второй стороне (станция с эталонными часами) устройство SDR осуществляет приём сигнала и отмечает время его прихода, а корреляционная обработка, демодуляция и декодирование сигналов производится программно. Затем сигнал синхронизации передаётся в обратную сторону. После успешного обмена метками времени на синхронизируемой станции проводятся вычисления временного сдвига между часами устройств, а также проводится оценка задержек распространения. Проведённый на модели эксперимент показал работоспособность предложенной системы. Точность синхронизации линейно связана с шириной спектра передаваемых сигналов, что соответствует теоретическим данным [3].

### **Литература**

1. *Edison J.* Measurement, Control, and Communication Using IEEE 1588. Springer, 2006.
2. *Banerjee P., Matsakis D.* An Introduction to Modern Timekeeping and Time Transfer. Springer, 2023.
3. *Прокис Дж.* Цифровая связь / пер. с англ. под ред. Д.Д. Кловского. М.: Советское радио, 2000.

*И.А. Панкратов<sup>1</sup>, М.Ю. Лисюткин*

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 7710-2400

## **РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

Специфика выполнения лабораторных работ по техническим дисциплинам заключается в следующем: применение вычислительной (компьютерной) техники; требуется высокая точность получаемых результатов; выполнение сложных математических расчётов; применение современных средств автоматизации и использования специализированного программного обеспечения (систем автоматизированного проектирования, систем автоматизации математических расчётов, систем компьютерного моделирования, графических редакторов и др.)

При выполнении лабораторных работ студентам необходимо выполнять рутинную работу по формированию отчётов о выполненных заданиях. Применение автоматизированного учебно-методического комплекса позволит автоматизировать процесс выполнения лабораторных работ, а применение системы интерактивного документирования – процесс формирования отчётов.

Разработанная автоматизированная информационная система (АИС) ускорит процесс обучения и усвоения материала студентами по дисциплине «Математические модели управления движением», реализуемой на механико-математическом факультете Саратовского национального исследовательского университета имени Н.Г. Чернышевского. Её использование уменьшит время выполнения работ по сравнению с решением задачи вручную. Подобные системы разрабатываются и другими авторами (см., например, работы [1–4]), но они обычно имеют узкую направленность и неприменимы для данного курса.

Указанная АИС позволит автоматизировать процесс создания отчетов при выполнении студентами лабораторных работ, и сведёт к минимуму написание программного кода при их выполнении. Объектом автоматизации выступает процесс выполнения задач по курсу «Математические модели управления движением» [5].

АИС была написана на языке программирования Python. Графический интерфейс представлен с помощью встроенного пакета *tkinter*, для составления отчетов был использован *pylatex*, для разработки решателя задач было решено использовать следующие пакеты: *sympy* для работы с символьными вычислениями (запись систем уравнений, подстановка в них конкретных значений, проведение математических преобразования, преобразование результатов вычислений в код LaTeX); *scipy* для решения поставленных в курсе задач; *numpy* для работы с исходными данными (здесь доступны продвинутые функции и методы для обработки массивов); *matplotlib* для генерации изображений и представления формул в графическом интерфейсе [5; 6].

Данные о задачах и способах их решения хранятся в базе данных MongoDB [7] успешно применённой одним из авторов ранее [8–10]. К данным задачи в системе относятся сведения о событиях и фактах по конкретной лабораторной работе, получаемые при помощи измерения, арифметических или логических операций, в т.ч. наименование задачи; условие задачи; переменные, используемые в задаче; метод, которым находится решение и т. д.

## Литература

1. Панов С.А., Пак В.В., Стежкин С.А. Использование современных программных средств для автоматизации процесса выполнения лабораторных работ по техническим дисциплинам // Электронные средства и системы управления: материалы докладов Международной научно-практической конференции. 2015. № 1-2. С. 264–268.
2. Панов С.А., Алексеев С.С. Дистанционные реально-виртуальные лаборатории для автоматизации лабораторных и научных экспериментов в современном техническом вузе // Современное образование: повышение профессиональной компетентности преподавателей вуза – гарантия обеспечения качества образования: материалы международной научно-методической конференции, Томск, 01–02 февраля

- 2018 года. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2018. С. 223–225.
3. *Бугаков П.Ю., Бараев Н.А.* Автоматизация генерации исходных данных для лабораторной работы по дисциплине «Алгоритмы и структуры данных» // Актуальные вопросы образования. 2021. № 1. С. 51–54.
  4. *Наговицын С.С., Горохов М.М.* Разработка виртуальных лабораторий естественнонаучных дисциплин // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании: сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции, Ижевск, 26–27 мая 2022 года. Ижевск: Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, 2022. С. 26–31.
  5. *Панкратов И.А.* Математические модели и методы решения задач оптимального управления. Саратов: Саратовский источник, 2019. 38 с.
  6. *Лисюткин М.Ю., Панкратов И.А.* Символьный подход к решению задачи оптимального разворота осесимметричного космического аппарата // Математика. Механика. 2023. Вып. 25. С. 127–130.
  7. *Фаулер М., Садаладж П.* NoSQL. Новая методология разработки нереляционных баз данных. М.: ДМК-Пресс, 2013. 158 с.
  8. *Блинков Ю.А., Панкратов И.А.* Хранение и обработка библиографической информации с помощью NoSQL // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5, № 7, ч. 1 (33-1). С. 247–249.
  9. *Блинков Ю.А., Панкратов И.А.* Документоориентированное хранение и обработка библиографической информации // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 8, ч. 1 (34-1). С. 63–66.
  10. *Блинков Ю.А., Панкратов И.А.* Документо-ориентированное хранение и обработка научных публикаций // Математическое моделирование, компьютерный и натуральный эксперимент в естественных науках. 2018. № 4. URL: [mathmod.esrae.ru/20-81](http://mathmod.esrae.ru/20-81) (дата обращения: 05.02.2025).

**И.А. Панкратов<sup>1</sup>, О.П. Муравьёва**

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 7710-2400

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ГЕНЕРАЦИИ ОТЧЁТОВ О НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЯХ**

В настоящей работе представлена информационная система (ИС) для генерации отчётов о научных публикациях профессорско-преподавательского состава кафедр механико-математического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского, позволяющая в удобной форме хранить данные о публикационной активности преподавателей и проводить анализ этих данных [1; 2]. ИС хранит информацию о публикациях сотрудников кафедры и дает возможность загружать и обновлять данные в автоматическом и ручном режимах. Работа является развитием [3; 4].

При проектировании ИС были построены диаграмма прецедентов, ER-диаграмма и диаграммы последовательностей для различных сценариев работы [5; 6]. В отличие от работ [7–9] информация о публикациях хранится в СУБД PostgreSQL. Описаны такие сущности, как «Публикация», «Автор», «Журнал», «Книга», «Конференция», «Кафедра». Для связи авторов и их публикаций предусмотрена связь «многие-ко-многим».

Заполнение таблиц было осуществлено с помощью автоматического импорта данных о публикациях из Google Scholar. Для этого был написан «паук», использующий библиотеку Scrapy. Данные из Google Scholar профиля того или иного сотрудника кафедры, содержащие ФИО автора, место работы, список публикаций, годы публикационной активности, количество цитирований каждой публикации, общую статистику публикаций и т.д. сохраняются в JSON-файл. Также в созданной ИС предусмотрена

функция ручного редактирования публикаций авторами для исправления неточностей в описаниях публикаций.

Графический интерфейс к ИС реализован на языке Python в виде веб-сайта с помощью фреймворка Django [10]. Построены диаграммы общего количества публикаций преподавателей и общего количества публикаций по годам. Диаграммы построены с помощью Canvas и JavaScript.

В разработанной ИС предусмотрена возможность формирования Excel-файлов с публикациями сотрудников кафедры за выбранные годы, а также с их наукометрическими показателями. Для детального анализа данных добавлены следующие показатели: всего публикаций в журналах/книгах/материалах конференций; индекс Хирша (h-индекс); количество цитирований; диаграмма количества публикаций/цитирований в разрезе года; общее количество публикаций по преподавателям; общее количество публикаций по годам; общее количество публикаций кафедры; диаграмма общего количества публикаций в разрезе преподавателей; диаграмма общего количества публикаций в разрезе кафедр.

Для демонстрации работы системы и анализа данных были загружены публикации преподавателей нескольких кафедр механико-математического факультета. В базе данных содержится больше тысячи записей о научных публикациях (количество публикаций в журналах, книгах и материалах конференций, индекс Хирша и т. д.).

Приведены результаты анализа публикационной активности сотрудников механико-математического факультета за несколько лет.

## **Литература**

1. *Акоев М.А., Маркусова В.А., Москалева О.В., Писляков В.В.* Руководство по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 250 с.
2. *Логунова О.С., Арефьева Д.Я., Сухов Д.А., Гладышева М.М., Торчинский В.Е.* Научные публикационные коллаборации: структурирование и визуализация информации // Вестник Череповецкого государственного университета. 2019. № 5. С. 22–41.
3. *Панкратов И.А., Грязнова А.В.* Автоматизация учёта публикационной активности сотрудников кафедры // Математическое моделиро-

- вание, компьютерный и натуральный эксперимент в естественных науках. 2024. № 2. URL: [mathmod.esrae.ru/46-190](http://mathmod.esrae.ru/46-190) (дата обращения: 07.02.2025).
4. *Курдаков Е.В., Панкратов И.А.* Автоматизация построения отчётов о работе кафедры // Математическое моделирование, компьютерный и натуральный эксперимент в естественных науках, 2021. № 1. URL: [mathmod.esrae.ru/33-124](http://mathmod.esrae.ru/33-124) (дата обращения: 08.02.2025).
  5. *Фаулер М.* UML. Основы. Краткое руководство по стандартному языку объектного моделирования М.: Символ-плюс, 2011. 192 с.
  6. *Буч Г., Рамбо Дж., Якобсон И.* Введение в UML от создателей языка. М.: ДМК Пресс, 2015. 496 с.
  7. *Блинков Ю.А., Панкратов И.А.* Хранение и обработка библиографической информации с помощью NoSQL // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 7, ч. 1 (33-1). С. 247–249.
  8. *Блинков Ю.А., Панкратов И.А.* Документоориентированное хранение и обработка библиографической информации // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 8, ч. 1 (34-1). С. 63–66.
  9. *Блинков Ю.А., Панкратов И.А.* Документо-ориентированное хранение и обработка научных публикаций // Математическое моделирование, компьютерный и натуральный эксперимент в естественных науках. 2018. № 4. URL: [mathmod.esrae.ru/20-81](http://mathmod.esrae.ru/20-81) (дата обращения: 07.02.2025).
  10. *Дронов В.А.* Django 2.1. Практика создания веб-сайтов на Python. СПб.: БХВ-Петербург, 2016. 528 с.

*А.О. Кобзева, А.О. Кобзева, В.Е. Драч<sup>1</sup>*

*Сочинский государственный университет, г. Сочи, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 9241-0460

## **РАЗРАБОТКА ВЕБ-САЙТА СПОРТИВНОЙ ШКОЛЫ**

В настоящей работе рассматривается процесс разработки веб-сайта для управления расписанием мероприятий и занятий спортивной школы на базе системы управления контентом с открытым исходным кодом Joomla. Основной целью проекта является создание интуитивно понятного и функционального интерфейса, который обеспечит доступ к актуальной информации о событиях и расписании занятий для учеников, родителей и тренеров.

В рамках работы был проведен тщательный анализ потребностей целевой аудитории, включающей учеников, тренеров и администраторов. Данный анализ позволил выявить ключевые требования к функционалу сайта, что является важным шагом для обеспечения удобства всех участников образовательного процесса.

Проектирование интерфейса осуществляется с использованием шаблонов Joomla, с акцентом на удобство, привлекательность и соблюдение принципов юзабилити. Одним из важных аспектов разработки является адаптивность сайта для различных устройств, что гарантирует легкость навигации и доступность информации на всех платформах.

Техническая реализация сайта включает использование возможностей Joomla для интеграции компонентов, необходимых для управления расписанием, модулей уведомлений и опции онлайн-записи на тренировки. Это значительно упрощает процесс планирования и организации занятий, делая его более эффективным и удобным для пользователей.

Необходимо отметить, что несмотря на впечатляющее количество доступных в настоящее время расширений (включая платные и бесплатные варианты) для Joomla, в процессе разработки веб-сайта не удалось полностью отказаться от написания

кода: некоторые модули и компоненты потребовали доработок, а ключевые модули (включая модуль расписания занятий) были написаны с нуля с использованием HTML, PHP, CSS и JavaScript.

Для проверки функциональности и удобства использования сайта будет проведено тестирование. На основании полученных результатов будут разработаны рекомендации для дальнейшего улучшения и поддержки веб-ресурса. В качестве одного из этапов работы предусмотрен сбор отзывов пользователей и изучение показателей посещаемости сайта. Это позволит выявить успешные аспекты работы сайта и определить области, требующие доработки.

В заключение можно подытожить, что данная работа направлена на создание современного инструмента, который улучшит организацию учебного процесса в спортивной школе и повысит уровень взаимодействия между всеми участниками образовательного процесса с использованием современных технологий.

### **Литература**

1. Joomla. Использование компонентов для управления контентом в Joomla. URL: <https://docs.joomla.org/Components> (дата обращения: 10.02.2025).
2. Joomla. Создание и настройка шаблонов в Joomla. URL: [https://docs.joomla.org/Creating\\_a\\_template](https://docs.joomla.org/Creating_a_template) (дата обращения: 10.02.2025).
3. Цифровая экономика и системная цифровая трансформация: монография / А. С. Копырин, Е. В. Видищева, В. В. Коваленко [и др.]; под ред. А. С. Копырина. Сочи: СГУ, 2023. 196 с.

***В.А. Харсева, В.Е. Драч***<sup>1</sup>

*Сочинский государственный университет, г. Сочи, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 9241-0460

## **ВЫБОР СТЕКА ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРА АРОМАТИЧЕСКИХ СВЕЧЕЙ**

Процесс проектирования свечей является многокомпонентной задачей, включающей оптимизацию формы, подбор состава воска, выбор типа фитиля и моделирование параметров горения. Использование программных средств автоматизированного проектирования позволяет значительно повысить точность расчетов, минимизировать производственные издержки и улучшить эксплуатационные характеристики конечного продукта. Внедрение таких инструментов способствует разработке инновационных решений, обеспечивающих создание свечей с заранее заданными свойствами.

Современные технологии 3D-моделирования, включая такие программные комплексы, как Blender и AutoCAD, обеспечивают возможность проектирования геометрически сложных объектов. Однако стандартные средства проектирования не учитывают динамику термохимических процессов, происходящих в свечах во время горения. Для решения данной задачи необходимо использовать физико-математические модели, описывающие теплообмен, фазовые переходы и аэродинамику пламени. Численные методы, такие как метод конечных элементов, позволяют проводить детализированный анализ теплопередачи и механики плавления воска, что критически важно для оценки эксплуатационных характеристик свечей.

Разработка специализированного программного обеспечения для проектирования свечей должна включать интегрированный 3D-редактор, базу данных материалов с детализированными параметрами горючести, симулятор горения, а также алгоритмы

оптимизации на основе методов машинного обучения. Важным аспектом является возможность моделирования различных условий эксплуатации, включая влияние температуры окружающей среды, влажности и воздушных потоков на процесс горения. Использование искусственного интеллекта позволит анализировать результаты симуляций и адаптировать конструктивные параметры свечей для достижения оптимальных характеристик.

Предложенный программный инструмент может быть полезен в различных областях, включая промышленное производство свечей, научные исследования в области материаловедения, образовательные программы и экологические экспертизы. В промышленности его применение обеспечит автоматизацию проектирования и снижение материальных затрат. В образовательном процессе программа может использоваться для изучения физико-химических процессов горения, а в экологии – для оценки безопасности и экологичности различных составов воска.

Проведенный обзор существующих технологий позволяет сделать вывод, что для разработки эффективного конструктора свечей целесообразно использовать комплексный подход, объединяющий методы численного моделирования, компьютерной симуляции и машинного обучения. В настоящий момент наиболее перспективным представляется сочетание аналитических моделей теплопередачи с алгоритмами оптимизации, что позволит достичь баланса между точностью расчетов и вычислительными затратами. В дальнейшем возможно расширение функциональности конструктора за счет интеграции с облачными вычислительными сервисами и автоматизированными системами производства, что обеспечит повышение эффективности проектирования и серийного выпуска продукции.

## **Литература**

1. Цифровая экономика и системная цифровая трансформация: монография / А. С. Копырин, Е. В. Видищева, В. В. Коваленко [и др.]; под ред. А. С. Копырина. Сочи: СГУ, 2023. 196 с.
2. *Лиходько С.А.* Технологии продвижения субъекта на примере бренда ароматических свечей ручной работы «LAOISE» // Медиасреда. 2024. № 2. С. 42–45.

**В.Е. Драч<sup>1</sup>, К.Е. Чукаев**

*Сочинский государственный университет, г. Сочи, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 9241-0460

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АССИСТЕНТ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГОЛОСОВЫХ СООБЩЕНИЙ В ТЕКСТ**

В контексте современных требований к автоматизации коммуникационных процессов, разработка бота, способного трансформировать голосовые сообщения в текстовый формат с последующей обработкой через продвинутые модели искусственного интеллекта, такие как DeepSeek, представляет собой сложную, но крайне перспективную задачу. Данный тезис фокусируется на архитектурных аспектах, технической реализации и интеграции компонентов, необходимых для создания такого решения.

Система строится на основе микросервисной архитектуры, где каждый компонент выполняет строго определенную функцию, обеспечивая модульность и масштабируемость. Основные модули включают: прием и обработку голосовых сообщений через Telegram Bot API, конвертацию аудиопотока в текстовый формат с использованием ASR-моделей, передачу текстовых данных в DeepSeek для семантического анализа и генерации ответа, а также возврат результата в исходный Telegram-чат.

Интеграция с Telegram осуществляется через Long Polling или Webhook, что позволяет боту асинхронно обрабатывать входящие сообщения. Голосовые сообщения, закодированные в формате Ogg Opus, декодируются и преобразуются в WAV для дальнейшей обработки. Для распознавания речи применяется ASR-модель, такая как Whisper, которая обеспечивает высокую точность транскрипции даже в условиях фонового шума или нечеткой дикции. Полученный текстовый контент передается в DeepSeek через RESTful API или gRPC, где происходит его семантический анализ и генерация контекстно-зависимого ответа.

DeepSeek, как высокоуровневая NLP-модель, требует предварительной обработки входных данных, включая токенизацию, нормализацию и удаление шумов. Для оптимизации взаимодействия с моделью используется кэширование частых запросов и батчинг, что снижает задержки и нагрузку на сервер. Ответ, сгенерированный DeepSeek, проходит постобработку, включая форматирование и проверку на соответствие контексту, после чего отправляется обратно в Telegram через метод sendMessage.

Для обеспечения высокой доступности и отказоустойчивости система разворачивается в облачной инфраструктуре, такой как AWS или Google Cloud, с использованием Kubernetes для оркестрации контейнеров. Балансировка нагрузки и автоматическое масштабирование позволяют обрабатывать тысячи запросов одновременно. Логирование и мониторинг через Prometheus и Grafana обеспечивают оперативное выявление и устранение узких мест в производительности.

Учитывая чувствительность передаваемых данных, система реализует end-to-end шифрование для голосовых сообщений и текстовых данных. Аутентификация и авторизация пользователей осуществляются через OAuth 2.0, а доступ к API DeepSeek защищается с помощью API-ключей и IP-фильтрации. Все данные хранятся в зашифрованном виде и удаляются после обработки, что соответствует требованиям GDPR и других регуляторных стандартов.

В рамках данного проекта была успешно разработана и реализована система интеллектуального ассистента, способного обрабатывать голосовые запросы и предоставлять осмысленные ответы. Основным достижением стала интеграция с Telegram API, где был создан модуль для приема и обработки голосовых сообщений, обеспечивающий асинхронное взаимодействие с пользователями. Для преобразования голосовых данных в текст была внедрена ASR-модель Whisper, которая демонстрирует высокую точность транскрипции и минимальные задержки, что критически важно для обеспечения удобства пользователей.

## **Литература**

1. Цифровая экономика и системная цифровая трансформация: монография / А. С. Копырин, Е. В. Видищева, В. В. Коваленко [и др.]; под ред. А. С. Копырина. Сочи: СГУ, 2023. 196 с.

2. Telegram Bot API // core.telegram.org: [сайт]. URL: <https://core.telegram.org/bots/api> (дата обращения: 11.02.2025).
3. Простые боты для Telegram на Python в Google Colab // drach.pro: [сайт]. URL: <https://drach.pro/blog/hi-tech/item/206-telegram-bot-colab> (дата обращения: 11.02.2025).

**Н.С. Кольева<sup>1</sup>, А.А. Панов**

*Уральский государственный экономический университет,  
г. Екатеринбург, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 8732-5601

## **КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА «ИНСПЕКЦИЯ МАРКИРОВКИ»**

С учетом динамичного изменения законодательных требований и растущих потребительских ожиданий, разработка прототипа программного обеспечения для программно-аппаратного комплекса «Инспекция маркировки» становится актуальной задачей в области информационных технологий.

Представим некоторые требования, необходимые при разработке прототипа программного обеспечения, предназначенного для эффективной проверки маркировки товаров [1–3]:

– Требования к защите информации. Важно обеспечить высокий уровень конфиденциальности информации о маркировке товаров, особенно при работе с личными данными потребителей. Программное обеспечение должно соответствовать нормам, предусматривающим защиту персональных данных.

– Интеграция с государственными системами. Если рассматривается алкогольная или табачная продукция, важно обеспечить интеграцию с Единой государственной автоматизированной информационной системой (ЕГАИС) для учета оборота алкогольной и табачной продукции (прим. ЧЕСТНЫЙ ЗНАК).

– Электронная маркировка. Прототип должен быть способен взаимодействовать с системами электронной маркировки, которые могут быть установлены для определенных видов товаров.

– Интеграция с системами магазинов и складов. Синхронизация с учетными системами: Программное обеспечение должно быть совместимо с системами учета на складах и в торговых точках, чтобы обеспечивать непрерывный и точный мониторинг маркировки на всех этапах товарооборота.

– Многоязычность и локализация. Прототип должен быть доступен на русском языке и учитывать особенности российского бизнес-контекста.

– Требования к отчетности. Прототип должен обеспечивать генерацию отчетов, соответствующих стандартам, установленным российским законодательством, для предоставления информации о маркировке товаров.

Концепция прототипа программно-аппаратного комплекса «Инспекция маркировки» (ПАК ИМ):

– поддерживает только 1 камеру, интерфейс которой наиболее простой и которая сама будет анализировать, декодировать и распознавать QR-коды, и плату с контактами ввода-вывода (двоичные датчики, кнопки, индикаторы);

– не будет конфигурироваться и иметь настройки. При разработке будет строго прошита конфигурация с 1 камерой;

– не будет иметь пользовательского интерфейса, кроме индикации процесса светодиодами и вывода декодированной информации о распознанных QR-кодах, а также текстового журнала прямо на экран;

– будет проверять валидность информации в маркировке на базовом уровне. Будем считать, что не валидной информацией считается ошибочное считывание камерой, код ошибки которой возвращает сама камера;

– будет сохранять считанные значения камерой в журнал и вести статистику, храня информацию в памяти;

– будет сигнализировать о решениях об отбраковке и остановке конвейера индикацией светодиодов;

– не будет предоставлять внешних интерфейсов управления (API) и выдачи данных в каких-либо форматах, кроме текстового журнала (лога).

Разработанный прототип программного обеспечения для программно-аппаратного комплекса «Инспекция маркировки» был протестирован не только в лабораторных условиях, но и на производственном оборудовании. Это позволило получить более точную оценку эффективности и надежности прототипа в реальных условиях его применения.

## Литература

1. *Кольева Н.С., Панов М.А., Кузнецов В.Е., Ярочкина К.Д., Перестенко К.А.* Разработка прототипа программного обеспечения для программно-аппаратного комплекса «Инспекция маркировки» // Программная инженерия. 2025. Т. 16, № 1. С. 47–56. DOI: 10.17587/prin.16.47-56.
2. *Абильдинова Г.М., Айтымова А.М.* Математическая модель оптимизации работ при разработке автоматизированных информационных систем // Цифровые модели и решения. 2024. Т. 3, № 4. С. 91–100. DOI: 10.29141/2949-477X-2024 3-4-6.
3. *Радковская Е.В.* Оптимизационные модели в совершенствовании производственно-управленческих технологий // Урал – драйвер неопытно-индустриального и инновационного развития России: материалы III Уральского экономического форума, Екатеринбург, 21–22 октября 2021 года. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2021. С. 187–191.

**Н.С. Кольева<sup>1</sup>, В.В. Шемакин**

*Уральский государственный экономический университет,  
г. Екатеринбург, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 8732-5601

## **ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИИ**

Особо важно обсудить будущие перспективы технологии блокчейн в повышении безопасности программного обеспечения. С развитием цифровизации технология блокчейна имеет широкие перспективы применения в области безопасности программного обеспечения.

Во-первых, можно предвидеть сохранение роли блокчейна в обеспечении целостности данных и устойчивости к несанкционированному доступу, обеспечивая надежные гарантии безопасности для программных систем.

Во-вторых, развитие смарт-контрактов позволит еще больше усилить контроль безопасности доступа к данным и функциональным операциям, а также повысить общий уровень безопасности программных систем. Кроме того, ожидается, что распределенный характер блокчейна еще больше снизит риски централизованных систем и повысит надежность и доступность системы.

Однако, будущее развитие также сталкивается с некоторыми проблемами. Технология блокчейна нуждается в постоянных инновациях для решения текущих проблем производительности и масштабируемости и обеспечения ее эффективности в крупномасштабных приложениях. Также необходимо более комплексно решать вопросы регулирования и соответствия, чтобы способствовать легальному применению технологии блокчейна во всем мире. Кроме того, обучение пользователей также будет иметь ключевое значение для повышения понимания и принятия технологии блокчейн, чтобы лучше продвигать ее применение в области безопасности программного обеспечения [1]. В целом,

технология блокчейна имеет широкие перспективы для улучшения безопасности программного обеспечения, но необходимо прилагать постоянные усилия для решения технических, нормативных и образовательных проблем, чтобы обеспечить ее всестороннее и устойчивое развитие [2].

Итоги исследования подчеркивают значительный потенциал блокчейн-технологий в повышении уровня безопасности программного обеспечения. Анализируя существующие проблемы безопасности программного обеспечения, было определено, что децентрализованная, прозрачная и неизменная природа блокчейна обладает уникальными возможностями для решения этой проблемы. Конкретные предложения охватывают четкие цели проекта, комплексное обучение персонала, выбор подходящей платформы, внимание к соблюдению нормативных требований, разработку смарт-контрактов, защиту конфиденциальности и т. д., а также предоставляют практические рекомендации по внедрению технологии блокчейн для повышения безопасности программного обеспечения. Несмотря на технические, нормативные и образовательные проблемы, ожидаем, что технология блокчейна будет играть еще большую роль в будущем, поскольку она продолжает внедрять инновации и решать проблемы для обеспечения большей безопасности программных систем.

### **Литература**

1. *Кольева Н.С., Панова М.В., Шемакин А.А.* Блокчейн-технологии как инструмент для повышения безопасности программного обеспечения // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2024. № 1. С. 6–13.
2. *Белусова В.И., Свяжина П.А., Зернюков Н.А.* Совершенствование системы учета тестовых устройств в ИТ-компаниях // Цифровые модели и решения. 2023. Т. 2, № 2. DOI: 10.29141/2782-4934-2023-2-2-5.

**М.В. Панова<sup>1</sup>, М.О. Маликов**

*Уральский государственный экономический университет,  
г. Екатеринбург, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 3582-1123

## **ПАРТИОННЫЙ УЧЕТ ТОВАРНО-МАТЕРИАЛЬНЫХ ЦЕННОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДРЕСНОГО ХРАНЕНИЯ (ЯЧЕЙСТОГО СКЛАДА) ДЛЯ КОНФИГУРАЦИИ «1С: УПРАВЛЕНИЕ ТОРГОВЛЕЙ»**

Использование информационных систем – важнейший инструмент эффективного развития бизнеса любого уровня. В числе основных рисков деятельности торгового предприятия можно выделить:

- риск изменения экономической ситуации;
- риск конкуренции;
- риск потери клиентов;
- риск невыполнения обязательств поставщиками;
- риск ошибок в управлении;
- риск мошенничества;
- риск стихийных бедствий и технических сбоев [1].

В целях предотвращения вышеописанных рисков, предприятию следует проводить регулярный мониторинг экономической ситуации и разрабатывать стратегии развития с учетом возможных изменений. Также можно заключать долгосрочные контракты с поставщиками и покупателями, диверсифицировать бизнес, создавать резервные фонды и развивать инновационные технологии. Руководству следует обратить внимание на улучшение качества своих товаров и услуг, разработку и поиск новых продуктов, улучшению обслуживания клиентов и проведению маркетинговых кампаний. Кроме того, предприятие должно постоянно анализировать рынок и следить за действиями своих конкурентов, чтобы быть готовым к новым вызовам.

Для качественного предоставления услуг, а также в целях избегания рисков невыполнения обязательств перед клиентами и поставщиками информационная система должна обладать соответствующим функционалом, который, в свою очередь, позволит оптимизировать бизнес-процессы предприятия, уменьшить нагрузку на сотрудников, а также сократить потребление предприятием ресурсов [2].

Перед началом разработки стоит отметить, что информационная система является внедряемой, и разрабатывается на базе типовых алгоритмов. Основой для разработки является конфигурация «1С: Управление торговлей 10.3». По умолчанию, каждая конфигурация, поставляемая фирмой «1С» является неизменной (или находится в статусе «На поддержке»). Для изменения режима работы необходимо зайти в «1С» в режиме «Конфигуратор» и, после запуска приложения, открыть Конфигурацию. После открытия меню «Настроек поддержки» для открытия возможности редактирования конфигурации необходимо нажать кнопку «Включить возможность изменения», ответить утвердительно на вопрос об изменении режима конфигурации и установить настройки правил поддержки.

Данные действия запустят процедуру изменения режима конфигурации, согласно указанным настройкам. Для ее завершения необходимо применить изменения с помощью опции «Обновить конфигурацию базы данных» в меню «Конфигурация», либо воспользоваться горячей клавишей F7.

Информационная система партионного учета товарно-материальных ценностей с использованием адресного хранения (ячеистого склада) предназначена для автоматизации бизнес-процессов складской деятельности предприятия, хранения информации и поиска данных, представления информации в удобном виде. Для этого необходима реализация следующих функций:

- ввод и корректировка администратором и менеджером данных об отгружаемых товарах;
- обеспечение однократного ввода постоянной информации;
- обработка информации;
- формирование отчёта оказанных услуг [3].

Для работы с информационной системой партионного учета товарно-материальных ценностей использованием адресного хранения (ячеистого склада) для конфигурации «1С: Управление Торговлей, редакции 10.3» необходима технологическая платформа «1С: Предприятие 8.3», версии не ниже 8.3., а также конфигурация «1С: Управление Торговлей, редакции 10.3», версии 10.3.70.3.

Использование этой информационной системы на предприятии позволит снизить риски, обеспечивая более эффективный контроль над запасами, улучшая координацию между различными отделами и уменьшая вероятность ошибок из-за человеческого фактора. Автоматизация процессов учета товаров и управления складом позволяет оперативно получать информацию о наличии и движении товаров, что помогает избежать дефицита или избытка определенных позиций. Помимо этого, интеграция с системой адресного хранения и ордерного склада, позволит увеличить скорость работы с товаром и строгость исполнения торговых процессов организации.

### **Литература**

1. *Грибанова-Подкина М.Ю.* UML-модель партионного учета товара для автоматизированной информационной системы // Программные системы и вычислительные методы. 2016. № 2. С. 111–123. DOI: 10.7256/2305-6061.2016.2.19271.
2. *Кольева Н.С., Панова М.В., Голиков С.Н., Вахрушев А.Н.* О возможностях автоматизации бизнес-процессов торговых компаний в российских CRM системах // Актуальные вопросы современной экономики. 2024. № 5. С. 247–252.
3. *Кортенко Л.В.* Внедрение программного обеспечения по аналитике больших данных // Наукосфера. 2024. № 10-2. С. 30–34. DOI: 10.5281/zenodo.13999777.

*И. Шуай<sup>1</sup>, А.Г. Масловская<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия*

<sup>2</sup>*Университет Иннополис, г. Иннополис, Россия*

<sup>2</sup>SPIN-код: 9406-4315

## **ПАТТЕРНЫ БАКТЕРИАЛЬНЫХ КОЛОНИЙ ПРИ ВАРИАЦИИ РЕЖИМОВ ПИТАНИЯ: ПРИЛОЖЕНИЕ МОДЕЛИ АЛЛЕНА – КАНА**

В междисциплинарных исследованиях, возникающих на стыке таких научных направлений как микробиология, биофизика и математическое моделирование, важным объектом является формирование пространственно-временных паттернов, наблюдаемых при эволюции микробных сообществ. В фокусе внимания ученых часто оказываются патогенные бактерии, одним из методов изучения которых является культивирование колоний на питательных средах и анализ кинетики роста бактериальных паттернов. Формирование морфологических структур различных типов связано не только с пролиферацией и миграцией бактерий, но и с диффузией и потреблением питательных веществ в окружающей среде [1]. Понимание взаимодействия между питательными веществами и бактериальным ростом играет ключевую роль в раскрытии механизмов образования биопленок, патогенеза инфекций и ключевых процессов в экологической микробной экологии [2]. В последние годы модели на основе уравнений диффузии-реакции широко применяются для описания динамики систем «бактерии – питательные вещества». Однако традиционные модели часто имеют ограничения при характеристике четкости краев колоний и их сложной морфологии.

В наших исследованиях представлено развитие модели Аллена – Кана в приложении к описанию эволюции бактериальных паттернов на питательных средах [3]. Данная модель позволяет одновременно описывать динамику концентрации биомассы бактерий и питательных веществ. В настоящем исследовании, на основе численной реализации модели и проведения вычислитель-

ных экспериментов, установлены условия влияния градиента питательных веществ на кинетику роста колоний.

Математическая формализация модели (в концепции модели Аллена – Кана) может быть представлена в виде начально-краевой задачи для системы параболических полулинейных уравнений.

$$\begin{cases} \tau_N \frac{\partial N}{\partial t} = D_N \Delta N - h \frac{\partial B}{\partial t} - \nu BN, \\ \tau_B \frac{\partial B}{\partial t} = D_B \Delta B + f(B, N), \end{cases} \quad 0 < x < l, 0 < y < l, 0 < t \leq \bar{t}, \quad (1)$$

$$f(B, N) = \begin{cases} aB(b-B)(B - (d - \theta \cdot \arctan(eN))), & \text{if } f(B, N) \geq 0, \\ 0, & \text{if } f(B, N) < 0, \end{cases} \quad (2)$$

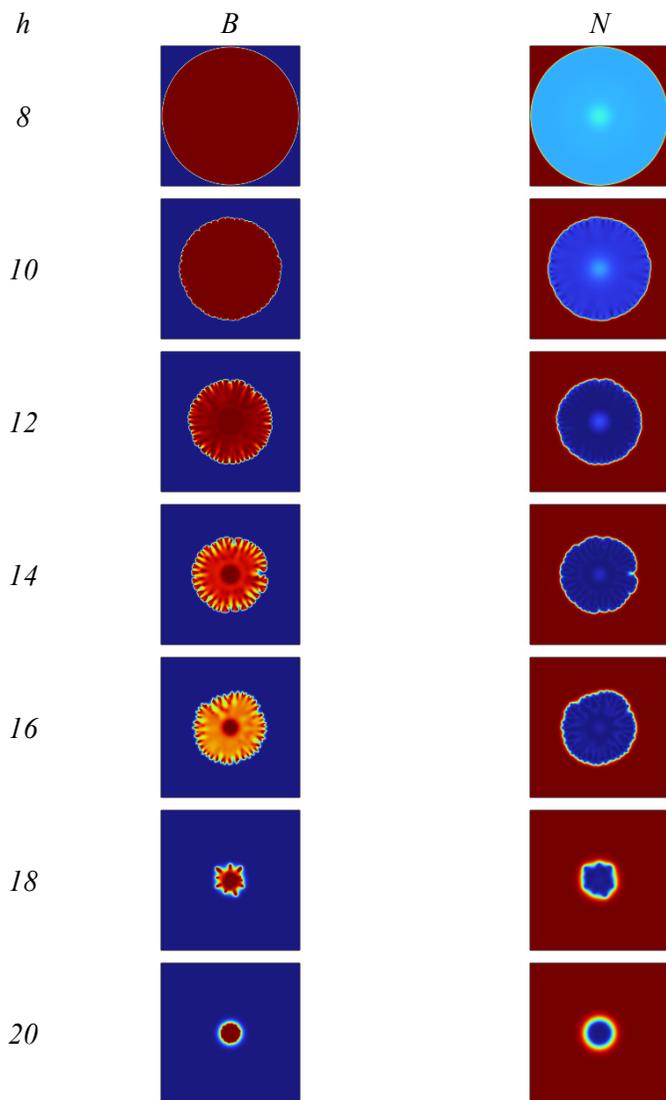
$$B(x, y, 0) = \begin{cases} B_0 & \text{if } \left(x - \frac{l}{2}\right)^2 + \left(y - \frac{l}{2}\right)^2 \leq q^2, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N(x, y, 0) = N_0, \quad 0 < x, y < l, \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial B}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0, \quad \left. \frac{\partial N}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0, \quad 0 < t < \bar{t}, \quad (4)$$

где  $B(x, y, t)$  – концентрация биомассы бактерий и  $N(x, y, t)$  – концентрация питания в отн.ед./м<sup>3</sup>;  $\bar{t}$  – граница интервала времени наблюдения, час;  $l$  – линейный размер расчетной области с границей  $\Gamma$ , м;  $\tau_B, \tau_N, D_B, D_N, \nu, h, a, b, d, \theta, e, q, B_0, N_0$  – положительные параметры модели.

Модель (1)–(4) была реализована методом конечных элементов с использованием пакета COMSOL Multiphysics. Пример реализации при вариации параметра  $h$  представлен на рисунке. Данные демонстрируют, что вариация параметров взаимодействия бактерий с регуляторными веществами в рамках данной модели позволяет визуализировать бактериальные паттерны с различными морфологическими характеристиками. Результаты данных исследований потенциально важны и востребованы в интегральной модели бактериального роста, который регулируется бактериальным кворумом [4].



Двумерное распределение бактериальных колоний ( $B$ ) и питательных веществ ( $N$ ) при различных параметрах

## Литература

1. *Stewart P.S., Franklin M.J.* Physiological heterogeneity in biofilms // *Nature Reviews Microbiology*. 2008. Vol. 6, № 3. P. 199–210.
2. *Nadell C.D., Xavier J.B., Foster K.R.* The sociobiology of biofilms // *FEMS Microbiology Reviews*. 2008. Vol. 33, № 1. P. 206–224.
3. *Shuai Y., Maslovskaya A.* Computer-assisted approach to study of bacterial communication for landau-based model of population growth // *2024 Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems (AMCSM)*. Voronezh, 2024. P. 1–7.
4. *Shuai Y., Maslovskaya A.G., Kuttler C.* Modeling of bacterial communication in the extended range of population dynamics // *Mathematical Biology and Bioinformatics*. 2023. Vol. 18 (1), P. 89–104.

**С.К. Саруханян**

*Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия*  
SPIN-код: 7843-5309

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ РЕШЕТОК КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ К ЗАДАЧАМ ДИФFUЗИИ В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

При создании клеточно-автоматных моделей важно учитывать, что применение дискретных аналогов для решения классических задач математической физики требует тщательной проверки их корректности. Это связано с тем, что геометрические решетки могут строиться на основе различных типов ячеек, что влияет на точность моделирования диффузионных процессов. Выбор конкретной дискретной сетки для клеточного автомата существенно определяет качество результатов. Следовательно, возникает ключевая задача: выяснить, какие виды решеток клеточных автоматов способны обеспечить достаточную точность при интеграции диффузионных задач с клеточно-автоматными методами. Методологическая основа исследования заключается в дискретном моделировании процесса диффузии в ограниченной области с использованием клеточно-автоматного подхода и последующем сравнении полученных результатов с данными, полученными с помощью конечно-элементного анализа из специализированного программного обеспечения.

В рамках нашего предыдущего исследования [2], были проанализированы различные двумерные решетки для моделирования диффузионных процессов. Результаты показали, что решетки с большим числом соседних ячеек, такие как гексагональная и расширенная ортогональная, демонстрируют лучшую эффективность по сравнению с классической ортогональной решеткой.

Цель настоящего исследования заключается в расширении ранее примененного подхода с учетом более сложной геометрии

моделируемой области путем внедрения трехмерных клеточных автоматов и соответствующих типов решеток для дискретизации расчетной области. При переходе к трехмерному пространству задача становится значительно более комплексной. В этом контексте особую значимость приобретают не только вопросы точности получаемых результатов, но также и эффективность разрабатываемых алгоритмов с точки зрения вычислительной производительности.

На рис. 1 представлены основные типы ячеек, использованных в исследовании, с демонстрацией векторов соседства и базисных векторов.

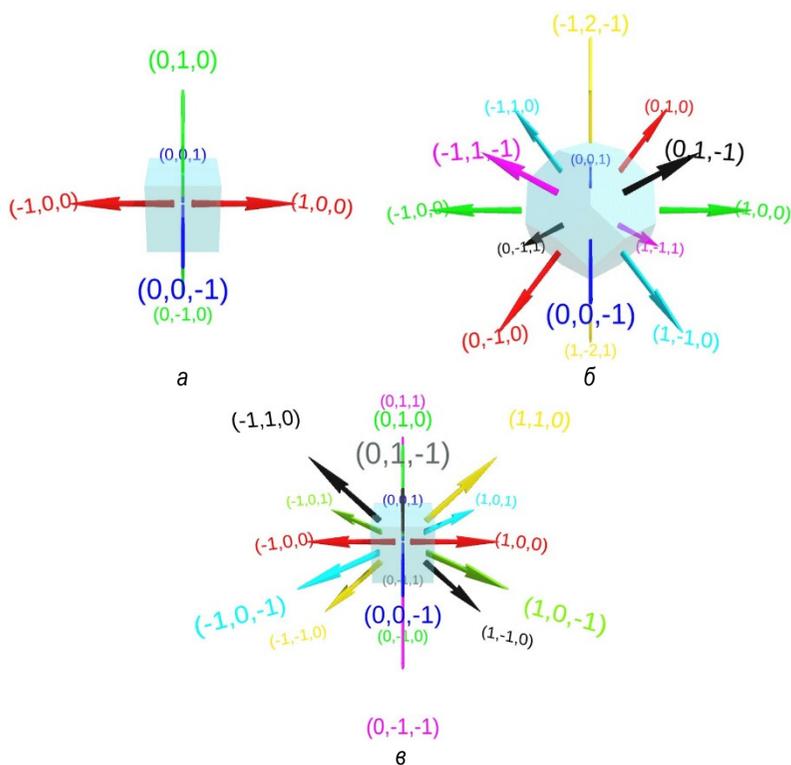


Рис. 1. Типы ячеек: кубическая – а, октаэдральная – б, расширенная кубическая – в

В результате работы была разработана и реализована концепция моделирования процесса диффузии вещества в трехмерном пространстве с использованием клеточных автоматов. Предложенный подход поддерживает три типа решеток: классическую кубическую, кубическую с учетом диагональных соседей и решетку, основанную на ячейке усеченного октаэдра. Программная реализация выполнена на языке C# с применением платформы Unity. Помимо этого, программный инструментарий включает модуль сравнительного анализа, который позволяет импортировать результаты моделирования в Comsol Multiphysics для их оценки и записи вычисленной погрешности в файл журнала (log-file).

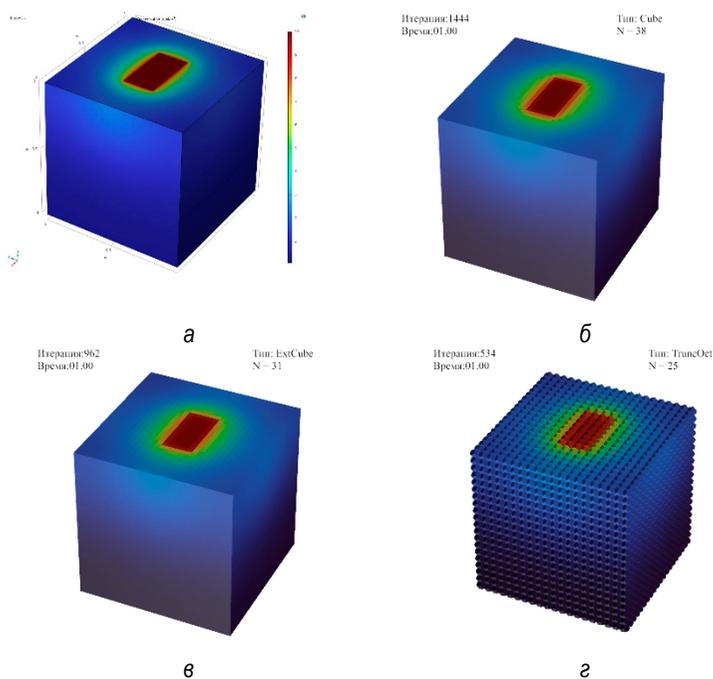


Рис. 2. Примеры расчета диффузионной задачи для различных случаев: Comsol – а, кубическая – б, расширенная кубическая – в, октаэдральная – г

## Литература

1. *Picioroanu C.* Particle-based multidimensional multispecies biofilm model // *Appl. Environ. Microbiol.* 2004. Vol. 70(5). P. 3024–40.
2. *Саруханян С.К., Масловская А.Г.* Концепция верификации работы клеточных автоматов при вариации геометрических решеток для модели диффузионного типа // *Математические структуры и моделирование.* 2024. № 2 (70). С. 63–79.

*Е.В. Семочкина*

*г. Москва, Россия*

## **ЧТО МОЖЕТ СДЕЛАТЬ ПОСЕТИТЕЛЯ ВЕБ-САЙТА ПОСТОЯННЫМ**

В источнике [1] указывается на существование «вовлекающих в чтение» страниц. («Вовлекающие в чтение» страницы открывает для прочтения большинство из зашедших по «закладкам» или из поисковых систем посетителей, а прямых заходов на них из интернета нет.) Вовлекающие в чтение страницы вместе с часто запрашиваемыми в поисковых системах (названы «целевыми») и объектами «закладок» (статьи названы «любимыми») формируют интерес посетителей и влияют на величину аудитории web-сайта.

В конце марта – в начале апреля 2020 года на web-сайте «Святые иконописцы», наблюдался активный просмотр статьи «Иконописание – божественная профессия» (URL: <http://devotion.1gb.ru/index.php/en/read/2-uncategorised/627-ikonopisanie-bozhestvennaya-professiya>) [1]. Похожая ситуация случилась на Страстной Неделе (16 апреля 2020 года) со статьей «Штурм ада. Всех ли вывел из ада Христос?» [1]. Графики с данными за эти периоды, предоставленные счетчиком <https://www.liveinternet.ru>, показывают, что внешние переходы на обсуждаемый сайт были осуществлены через другие страницы. Обе указанные страницы - примеры вовлекающих в чтение.

Осенью 2020 г. наблюдалось вовлечение в чтение материалами «Максим Шешуков – иконопись» и «Ольга Шаламова и Филипп Давыдов – иконописцы из Санкт-Петербурга», размещенными на том же web-сайте.

Дальнейший анализ прочтения статей web-сайта «**Святые иконописцы**» проводился по статистическим данным о числах просмотров страниц, предоставляемым CMS Joomla (на ней создан ресурс). Выявлялись материалы со стабильно высокими показателями просмотра страниц.

Всего таких статей – 70. Помимо названных выше двух статей в список входят статьи; «Молодым иконописцам нужно смотреть на лица в метро», «Главные труды Леонида Александровича Успенского», «Иконописец священник Вячеслав Савиных» и «Иконописец Павел Вещев», «Призвание церковного реставратора», «Икона антипасхи», «Икона “Притча о 10 девах”», «Осваивать иконопись – это совершенно особая радость», «Женщина с сосудом мира: благодарение Богу», «В Сербии открылась выставка, посвященная 100-летию прибытия в страну русских эмигрантов», «Почувствовать каждого святого», «Изограф А.И. Казанцев», «Редкая фреска Богородицы доиконоборческой эпохи найдена на греческом острове», «Вифлеемская звезда на иконах», «Помощь Божиих Сил в земной жизни», «Династия живописцев Бурениных» и др. Десятки материалов проявили себя, «вовлекающими в чтение» из более чем 1400 страниц, т. е. менее одного процента статей.

Интерес к заметкам об иконописцах и иконах на web-сайте «Святые иконописцы» закономерен ввиду родственности тем ресурса и статей, однако одни заметки чаще открываются, чем другие. Скорее всего, посетитель сайта думает: «Это может быть очень интересным!» – и открывает материал. Что побуждает так думать в ряде случаев?

Рассмотрев полученные 70 статей, предположим: привлекают известность мастера-иконописца, актуальность темы в соответствии с событиями церковного календаря, новизна информации или необычность подхода в решении вопроса, важность открытия во время археологических раскопок... Есть вероятность, что обсуждаемые статьи, в отличие от статей повышенного интереса появляются под влиянием двух-трех факторов, а остальные – под действием одного, хотя и сильного. Например, интересная сама по себе тема «Штурм ада. Всех ли вывел из ада Христос?» была представлена читателю на Страстной неделе – наблюдается совпадение с событиями церковного календаря.

В названии статьи «Иконописание – божественная профессия» слово божественный (священный, святой) указывает на то, что служение иконописца Богу – один подвигов святости, а web-сайт и называется «Святые иконописцы». Известный иконописец Светлана Ржаницына прекрасно дала интервью, а читатели это оценили.

Поскольку **увеличение числа «целевых материалов», «любимых» и «вовлекающих в чтение» поможет сделать посетителей постоянными**, необходимо увеличить число **«вовлекающих в чтение»** заметок на сайте **до сотен** и провести глубокий анализ реакции посетителей на информацию. Выполнение поставленной задачи потребует размещения интервью известных иконописцев, раскрывающих их взгляды на творчество, подходы к их служению, описывающих практические советы; новостей в области иконописи или реставрации; открытий и заключений искусствоведов; сообщений о православных находках во время археологических раскопок; материалов с малоизвестными фактами о событиях Церковного года или их участниках.

В ходе исследования необходимо выявить, статьи на какие темы чаще попадают в категорию «вовлекающих в чтение» и почему.

### **Литература**

1. *Сёмочкина Е.В.* Методика маркетингового исследования интереса посетителей к информации WEB-сайта // Вычислительные сети. Теория и практика. 2022. № 1 (38):5.1. URL: <http://network-journal.mpei.ac.ru/cgi-bin/main.pl?l=ru&n=38&pa=5&ar=1> (дата обращения: 13.02.2024).

***Е.В. Семочкина***

*г. Москва, Россия*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕКЛАМНЫХ И PR-АКЦИЙ**

В источниках [1] и [2] приведены примеры моделирования в среде «ARIS EXPRESS» для организации PR и рекламных акций, соответственно, посвященных раскрутке новой рекламно-издательской организации.

Рисунок «General diagram» с названием «Основная идея стартовой pr-кампании» [1] демонстрирует необходимые условия проведения акции, проводимой среди компаний, и основные идеи ее организации. Диаграмма «Результаты успешной PR-кампании» [1] обрисовывает, что должно быть получено в результате: налажено сотрудничество с PR и рекламными агентствами, СМИ, компаниями-рекламодателями. Рисунок «Основная идея стартовой pr-кампании для населения» [1] показывает необходимые условия решения задачи выхода с информацией на предполагаемого читателя издания и намеченные пути.

По данным подписанных договоров с конкретными компаниями СМИ можно составить модели конкретных PR-акций в табличной форме «Whiteboard» («Белая доска»). В таких таблицах наглядно представляется конкретизирующая основную идею информация: в первом ряду – стадии и идеи, во втором ряду – действия, в третьем ряду – цели, в четвертом ряду – детали, в пятом ряду – показатели эффективности претворения в жизнь конкретной стадии или идеи. Столбцы наполняют уточнениями к проведению указанной стадии намечаемой PR-акции.

В источнике [2] обсуждаемые модели (в табличной форме «Whiteboard») приведены для рекламных кампаний: для серии статей о стартапе, для серии статей о персонах проекта и для рекламного видео-сериала проекта.

В сериал о стартапе были включены статьи:

- о целях стартапа, времени его запуска, новизне его для местного рынка и зарубежных аналогах (либо о продолжении опробованных традиций...)

- о начальных шагах стартапа (быстрое начало, и творческие моменты в работе) и их результате (удачное взаимодействие с партнерами и клиентами...)

- о продолжении стартапа (продолжение работы позволило закрепить удачные шаги начальной стадии), результатах и перспективах (взаимодействие с партнерами и клиентами позволяет уверенно прогнозировать...)

- о достигнутой стадии развития стартапа (он завоевал свою нишу, и бизнес развивается стабильно), что он дает клиентам и городу (как партнеры и клиенты реализуют свои цели...)

В сериал о персоналиях проекта были включены статьи:

- о руководителе проекта (сколько успешных проектов он уже возглавил, или в чем заключается его новаторский подход, подкрепляемый современными методиками управления...)

- о принципе построения команды проекта (члены команды проходили кастинг, или они успешно прошли вступительный тест, а затем – современный тренинг, нацеленный на сплочение команд) и о перспективах роста членов команды

- о творце идей команды (творческий подход позволяет работе проекта иметь «свой деловой подчёрк» и партнеры, и клиенты запоминают его) и сколько творческих возможностей в проекте (после обсуждения новых идей на вечернем заседании в конце недели одобренные командой идеи могут быть дополнительно рассмотрены руководством, а там - как оно решит...)

- о самом обычном члене команды (исполнителе «заманчивых идей»). Именно его работа с клиентами – основа благосостояния бизнеса. В статье необходимо показать, как используя методы компании во имя ее целей, сотрудники добиваются высоких результатов.

Рекламный видео-сериал проекта могут составлять ролики «Сценка в торговом зале», «Статистика и люди говорят только о хорошем», «Партнеры по бизнесу говорят о компании...».

Статьи [1] и [2] предназначены для студентов направлений образования 38.03.02 «Менеджмент», 38.03.05 «Бизнес информа-

тика» и 09.03.03 «Прикладная информатика» и практиков из сферы бизнеса при внесении дополнений, отражающих особенности их замыслов.

### **Литература**

1. Семочкина Е.В. Моделирование PR-кампаний для старта рекламной издательской деятельности фирмы с помощью методологии ARIS // Теория и практика применения современных информационно-образовательных технологий в Internet \ intranet \ extranet \ LAN \ Cloud сетях и средах: сб. трудов XXIV Международной межвузовской научно-практической конференции / под ред. д.т.н., проф. И.А. Смагиной Клин: РИЦ ИИТЭМ, РОЛИКС, 2022. С. 21–26.
2. Семочкина Е.В. «Рекламный штурм» рынка новым бизнес-проектом с помощью инструментальной среды моделирования «ARIS EXPRESS» // Вычислительные сети. Теория и практика. 2022. № 2 (39):6.1. URL: [URL:https://network-journal.mpei.ac.ru/ru/39/6/1/article.htm](https://network-journal.mpei.ac.ru/ru/39/6/1/article.htm) (дата обращения: 10.02.2025).

*Е.В. Семочкина*

*г. Москва, Россия*

## **МОДЕЛЬ ДАННЫХ ШТАТНОЙ РАССТАНОВКИ НЕБОЛЬШОЙ РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКОЙ КОМПАНИИ**

Если в организации установлена система электронного кадрового делопроизводства (КЭДО) («1С:Зарплата и управление персоналом 8» («1С:ЗУП»), «СБИС», «СберКорус», «Такском», «Контур.Диадок», «АТАЧ», «LANDOCS», «Lexema», «EasyDocs», «Миотех», «HR-Link», «Docsvision», «ТопФактор:Личный кабинет сотрудника» или «Directum HR Pro»), то нет необходимости составлять шаблоны унифицированных документов – они уже сделаны [5].

При отсутствии КЭДО можно использовать, например, ИС (информационную систему), разрабатываемую на основе описываемой ниже модели штатной расстановки.

В источнике [4] построена трехуровневая иерархическая модель данных штатной расстановки небольшой издательской компании, выпускающей еженедельную рекламную газету [3], с помощью методики «ARIS» [2]. Опубликованы фрагменты, отвечающие за

– управление небольшой рекламной компанией (сущности, атрибуты и ключи этих фрагментов расположены на первом и втором уровнях данных (узлы первого и второго уровня));

– отдел продаж, отдел распространения, редакцию, компьютерную верстку, отдел курьерской доставки. (Сущности, атрибуты и ключи этих фрагментов расположены на третьем уровне данных (зависимые узлы третьего уровня).)

Модель данных штатной расстановки компании позволит представить информацию в ORM Doctrine [1] для оперативного решения директором задач управления персоналом: о нагрузке имеющегося в данный момент персонала или о поиске дополни-

тельного. Такое представление информации позволяет легко вносить изменения в «дерево», менять местами и удалять «узлы». Данный алгоритм хорошо применим для небольших древовидных структур, которые часто подвергаются изменениям [1]. Древовидная структура небольшой компании как раз невелика.

Ввод данных в ORM Doctrine осуществлял бы секретарь. Доступ бы потребовался трем сотрудникам – секретарю, экономисту и директору.

Такая разработка помогает оперативно отслеживать свежесть кадровой информации, с которой работают каждый день. Эта форма гораздо проще унифицированной формы № Т-3, необходимой для официального представления данных. Ее проще проверять и поддерживать.

На необходимость приводимой модели данных штатной расстановки может повлиять ряд факторов:

- количество сотрудников и сложность структуры компании,
- доступность для руководителя КЭДО организации в любой момент,
- регулярность возникновения вопросов, связанных с информацией КЭДО,
- количество разнообразной информации, указанной ИС в данный момент (все ли вкладки и колонки необходимы),
- наличие в компании сотрудника, который сделает представление штатной расстановки в ORM Doctrine за доступную плату.

Статья [4] предназначена для студентов направлений образования 38.03.05 «Бизнес информатика», 09.03.02 «Информационные системы и технологии» и 09.03.03 «Прикладная информатика».

## **Литература**

1. Иерархические структуры данных и Doctrine // «Хабр» [Электронный ресурс] Пост № 46659. URL: <https://habr.com/ru/post/46659/> (дата обращения: 08.04.2022).
2. Методы и средства моделирования бизнес-процессов: методология ARIS: учеб.-метод. пособие / сост. С. В. Рындина. Пенза: Изд-во ПГУ, 2018. 52 с.

3. Семочкина Е.В. Анализ издательского рекламного бизнеса по методологии ARIS // Вычислительные сети. Теория и практика. 2021. № 1 (37):10.2. URL: <http://network-journal.mpei.ac.ru/cgi-bin/main.pl?l=ru&n=37&pa=10&ar=2> (дата обращения: 05.04.2024)
4. Семочкина Е.В. Составление модели штатной расстановки небольшой рекламной компании с помощью методики «ARIS» // Вычислительные сети. Теория и практика. 2022. № 2 (39): 10.1. URL: <http://network-journal.mpei.ac.ru/cgi-bin/main.pl?l=ru&n=39&pa=10&ar=1> (дата обращения: 05.04.2024).
5. Электронный кадровый документооборот: обзор популярных систем // Клерк.Ру. URL: <https://www.klerk.ru/buh/articles/521939/> (дата обращения: 03.04.2022).

*И.С. Давлетбаев*

*Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Россия*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИГРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИТУАЦИЙ**

В современном образовании все больше внимания уделяется внедрению новаторских подходов, способных сделать процесс обучения более продуктивным и увлекательным. Это особенно важно в области охраны труда, где традиционные методы, такие как лекции и стандартные тесты, часто не приносят желаемых результатов из-за низкой мотивации участников [2]. В этом контексте игровые технологии становятся мощным инструментом, позволяющим не только усваивать теоретические знания, но и отрабатывать практические навыки, необходимые для обеспечения безопасности на рабочем месте.

Использование компьютерных игр в учебных целях – это перспективное направление [1], которое позволяет моделировать реальные ситуации, с которыми работники могут столкнуться на работе. Например, жанр point-and-click, где игрок должен анализировать ситуацию, оценивать риски и принимать решения, идеально подходит для обучения. Такой формат способствует активному участию студентов и помогает им лучше усваивать учебный материал.

Целью настоящего исследования является разработка интерактивной обучающей игры, которая будет симулировать различные опасные ситуации на производстве. Ключевым моментом является создание гибких сценариев, которые позволят пользователям столкнуться с различными вызовами и находить оптимальные способы их решения. В процессе разработки особое внимание уделяется таким элементам, как динамическое изменение условий, использование звуковых подсказок и реалистичная ви-

зуализация. Эти компоненты не только делают игровой процесс более увлекательным, но и способствуют формированию навыков, необходимых для предотвращения аварий и травм.

Использование игровых технологий в процессе обучения по охране труда предполагается приведет к увеличению заинтересованности сотрудников и уменьшению числа ошибок, вызванных недостаточной подготовкой. Для оценки эффективности этого подхода планируется провести тестирование игры среди целевой аудитории. Это поможет выявить недостатки, улучшить механику и повысить понимание учебного материала. Внедрение подобных интерактивных программ способствует созданию культуры безопасности на рабочем месте, где сотрудники не только знают правила, но и умеют применять их в реальных условиях.

### **Литература**

1. *Фролов К.К.* Геймификация в образовании и бизнесе. М.: Юрайт, 2020.
2. *Белов В.В.* Охрана труда и техника безопасности на предприятии. М.: Высшая школа, 2018.

*Д.Р. Латыпов*

*Казанский государственный энергетический университет.  
г. Казань, Россия*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ОТЧЕТОВ ИЗ БАЗ ДАННЫХ О МЕТОДИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ДИСЦИПЛИН**

Современные образовательные организации всё чаще сталкиваются с необходимостью автоматизации процессов, связанных с формированием отчетов о методическом обеспечении дисциплин. Ручное выполнение этой задачи занимает много времени и сопряжено с высокой вероятностью ошибок, что делает разработку автоматизированной системы крайне актуальной. Такая система, используя данные из базы образовательного учреждения, позволяет оперативно и точно [1] формировать отчеты, минимизируя вмешательство человека и снижая риск неточностей. Автоматизированный подход значительно ускоряет процесс подготовки отчетных документов, обеспечивает их актуальность и достоверность. Основные этапы разработки системы включают анализ требований, создание структуры базы данных, проектирование удобного интерфейса и разработку модулей для автоматического формирования отчетов. Важными аспектами являются корректная организация данных, их обновление и возможность экспорта в различные форматы, включая PDF и Excel.

Методическое обеспечение дисциплин включает перечень учебных материалов, информацию о преподавателях, график занятий и экзаменов. Архитектура базы данных должна быть гибкой, чтобы учитывать все эти элементы и предоставлять детализированную информацию. Пользовательский интерфейс должен быть интуитивно понятным, чтобы обеспечить быстрый доступ к необходимым данным и удобный выбор параметров отчета. Модули системы должны обеспечивать точные запросы, форматиро-

вание и сохранение отчетов в заданных форматах. Дополнительные функции[2], такие как планирование генерации отчетов и уведомления пользователей, делают систему более эффективной. Безопасность данных и разграничение доступа – важнейшие условия при разработке. Внедрение автоматизированной системы не только облегчает работу сотрудников, но и повышает качество управления образовательным процессом.

### **Литература**

1. *Диятян С.В.*, Бобровников А.Э. Подготовка и автоматизация отчетности по МСФО. М.: 1С-Публишинг, 2020.
2. *Хрусталева Е.Ю.* Разработка сложных отчетов в «1С:Предприятия 8». Система компоновки данных. М.: 1С-Публишинг, 2011.

***Р.О. Запанов***

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

## **ПРОВЕРКИ ПЕРЕПОЛНЕНИЯ ДЛЯ ЯЗЫКОВ С ПОДДЕРЖКОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ МНОГОПОТОЧНОСТИ В УПРАВЛЯЕМОЙ СРЕДЕ**

Для поддержки виртуальных (легковесных) потоков [1], основанных на стековых сопрограммах, требуется особая подсистема управляющей стеками вызова, отличная от классической, в которой стеки выполняются в виде непрерывного отрезка адресного пространства заранее выбранного размера. Проверку на переполнение для стеков принято выполнять в прологе функций с помощью неявного доступа к памяти, размещенной под стековым кадром вызываемой функции. Под стеком размещается защищенная страница, доступ к которой означает переполнение.

Из-за требований к размерам стека виртуальных потоков, предлагаются реализации стека вызовов, отличные от классической и поддерживающие динамическое расширение стеков. Двумя возможными способами расширения стека являются:

- эвакуация содержимого в новую область памяти, большую предыдущей;
- организация сегментов стека в связный список.

Ввиду того, что количество стеков пропорционально количеству легковесных потоков, количество которых может быть произвольным, рассчитывать на наличие защищенной страницы на конце стека невозможно, так как это приведет к фрагментации виртуального адресного пространства.

Таким образом, для обоих способов требуется эффективно выполнять процедуру проверки переполнения для последующего расширения стека, которая при этом сопоставима по производительности с классическими проверками переполнения.

В работе предлагаются две альтернативные техники проверки переполнения, а также пути уменьшения издержек на их добавление и использование.

Дополнительно предлагается методика использования данных проверок, которая может использоваться при реализации других компонент управляемых сред в виде безопасных точек [2], потоково-локальных сигналов (thread-local handshakes), а также способа профилирования.

### **Литература**

1. *Elizarov R. et al.* Kotlin coroutines: design and implementation // Proceedings of the 2021 ACM SIGPLAN International Symposium on New Ideas, New Paradigms, and Reflections on Programming and Software. 2021. P. 68–84. DOI: 10.1145/3486607.3486751.
2. *Agesen O.* GC points in a threaded environment. Sun Microsystems, Inc., 1998.

**В.З. Ахмедов**

*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия  
Институт автоматики и электрометрии СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия*

## **РАЗРАБОТКА КЭШИРУЮЩЕГО РАСШИРЕНИЯ ДЛЯ POSTGRESQL**

Когда СУБД PostgreSQL получает запрос, процесс его обработки проходит несколько этапов: сначала выполняется парсинг запроса, затем его планирование и оптимизация, и только после этого – выполнение. При этом, необходимые данные находятся на постоянном хранилище, доступ к ним занимает значительно больше времени по сравнению с данными, хранящимися в оперативной памяти.

Существует определенный класс задач, для решения которых не хватает скорости обработки запросов PostgreSQL. В таких случаях используются сторонние key-value хранилища, работающие в оперативной памяти и выполняющие роль кэша. Одним из самых популярных решений до недавнего времени был Redis, однако в настоящее время он недоступен для пользователей из России. Таким образом, задача повышения количества обрабатываемых запросов в PostgreSQL за единицу времени остается актуальной. Важно отметить, что предлагаемое решение должно обеспечивать совместимость с уже существующими приложениями, разработанными для работы с Redis. Это позволит минимизировать количество изменений, необходимых для перехода на новое решение.

Цель данной работы – разработка способа ускорения обработки повторных запросов для PostgreSQL.

В ходе разработки было создано расширение для PostgreSQL, позволяющее принимать запросы через протокол RESP (REdis Serialization Protocol), преобразовывать их в SQL-команды и передавать на выполнение серверу PostgreSQL. Рас-

ширение также обеспечивает кэширование полученных результатов и возврат ответа клиенту в соответствии с протоколом RESP.

### **Литература**

1. Database Caching. URL: <https://www.postgresql.org/message-id/E16gYpD-0007KY-00@mclean.mail.mindspring.net>.
2. Semantic Caching and Query Processing. Qun Ren Margaret H. Dunham. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=0da7b0291931944d84b6e0935475b921ba95b0f5>.
3. Документация по протоколу RESP. URL: <https://redis.io/docs/latest/develop/reference/protocol-spec/>.

*К.С. Галкин*

*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

**ПОДЪЕМНИК ДЛЯ КРЕСЕЛ-КАТАЛОК:  
РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО  
ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ПРАКТИКУМА  
ПО ПРОЦЕСС-ОРИЕНТИРОВАННОМУ  
ПРОГРАММИРОВАНИЮ**

В условиях стремительного развития технологий и увеличения потребности в доступности для людей с ограниченными возможностями, создание эффективных и безопасных решений для их передвижения становится особенно актуальным. Одним из таких решений является подъемник для кресел-каталок, который обеспечивает мобильность и независимость пользователей. Однако разработка и отладка управляющих программ для таких систем требуют использования специализированного оборудования, такого как программируемые логические контроллеры и лабораторные стенды, что связано с высокой стоимостью и сложностью эксплуатации.

Целью данной работы является разработка виртуального лабораторного стенда (ВЛС), направленного на моделирование работы подъемников для кресел-каталок. ВЛС позволяет тестировать и отлаживать управляющие программы в безопасной среде, что исключает риски, связанные с использованием реального оборудования.

В рамках исследования запланировано провести анализ существующих методов моделирования объектов управления, изучить принципы работы подъемников для кресел-каталок и их управляющих систем. На основе этого разработать перечень требований к виртуальному лабораторному стенду.

Предложенный виртуальный стенд позволит проводить эксперименты и анализировать работу системы в различных

условиях, что будет способствовать улучшению образовательного процесса и повышению уровня подготовки будущих специалистов в области автоматизации и управления.

### **Литература**

1. *Maseevsky A., Zyubin V.* Developing Cloud PLC for poST-Specified Software // 2023 International Russian Automation Conference (RusAuto-Con). IEEE, 2023. P. 477–480.

*Д.Е. Евдокимова*

*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

## **К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ЦКП «СКИФ»**

С развитием информационных технологий и увеличением объемов данных цифровые двойники (ЦД) [см. 1] приобретают все большее значение как неотъемлемый инструмент моделирования, прогнозирования и оптимизации [2] сложных систем.

ЦД находят свое применение в различных областях науки, промышленности [3], медицины [4], экономики, и бизнеса [5]. Можно выделить следующие преимущества ЦД: уменьшение затрат на производство, сокращение времени выхода продукции на рынок, прогнозируемое обслуживание.

Важным вопросом при создании ЦД является проблема оптимального выбора платформы для реализации ЦД. Выбор зависит от множества факторов, таких как поддержка 3D-моделирования и возможность для визуализации результатов, поддержка работы на кластере и технологий распараллеливания задач, наличие лицензии и др. На основе анализа открытых источников нами было выбрано 17 программных решений: Компас-3D (КМПС), SimInTech (SIT), AnyLogic (AL), MATLAB/Simulink (MS), Unity 3D (U3D), Prespective (PrSp), Simul8, Simio, Azure Digital Twins (ADT), SimScale (SS), Visual Components (VC), Lanner's WITNESS (LW), SolidWorks (SW), Simula, Bentley iTwin (BiT), Blender (Bldr), Autodesk (AuD). Для объективной оценки этих программ был проведен сравнительный анализ. Результаты SWOT-анализа программных решений представлены в таблице.

Исходя из анализа открытых данных и требований у ЦД ЦКП «СКИФ» мы выделили следующие ПО для построения ЦД: MATLAB/Simulink, Azure Digital Twins, SolidWorks, Autodesk.

## SWOT-анализ результатов сравнения ПО для создания ЦД

Сильные стороны	Слабые стороны
<p>– <i>Кроссплатформенность</i>: поддержка работы на Windows, Linux, macOS (AL, MS, U3D, PrSp, Bldr).</p> <p>– <i>Поддержка форматов</i> CSV, XML, Excel: Simul8, Simio, LW.</p> <p>– <i>Поддержка веб-версий</i>: некоторые программы, кроме десктопа, доступны в вебе (AL, SW, AuD).</p> <p>– <i>Возможность работы с кластером</i>: некоторые программы могут отправлять вычисления на кластер (MS, ADT, SW, AuD, КМПС).</p> <p>– <i>Наличие учебной лицензии и/или бесплатной версии</i>: MS, SW, AuD, КМПС, Simio, SS, VC, Simula, BiT, Bldr, SIT).</p>	<p>– <i>Поддержка только проприетарных форматов</i> (U3D, SS, VC, BiT, AuD).</p> <p>– <i>Зависимость от платформы</i>: некоторые ПО работают только на одной операционной системе (Simul8, Simio, ADT, VC, LW, Simula).</p> <p>– <i>Отсутствие лицензий</i>: у некоторых программ нет студенческих лицензий (ADT).</p> <p>– <i>Отсутствие универсального формата передачи данных</i>: одни ПО используют API (AL, MS, Simio, SS, SIT, AuD, Bldr, BiT, SW), другие - сетевые протоколы (U3D, PrSp, VC, SW).</p>
Возможности	Угрозы
<p>– <i>Внедрение искусственного интеллекта</i>: добавление инструментов машинного обучения для улучшенного анализа работы научной установки.</p> <p>– <i>Универсальный стандарт для ЦД</i>: разработка унифицированных протоколов и стандартов обмена данными.</p>	<p>– <i>Безопасность передачи данных</i>: риски утечек при передаче информации между цифровым двойником и физическим объектом.</p> <p>– <i>Изменения в лицензировании</i>: возможные ограничения на использование открытого ПО в коммерческих проектах.</p> <p>– <i>Низкая совместимость между разными инструментами</i>: разные стандарты и форматы данных могут усложнить интеграцию ЦД в существующую инфраструктуру.</p>

### Литература

- ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 6 с.

2. Царев М.В., Андреев Ю.С. Цифровые двойники в промышленности: история развития, классификация, технологии, сценарии использования // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021. Т. 64, №. 7. С. 517–531.
3. Римская О.Н., Анохов И.В. Цифровые двойники и их применение в экономике транспорта // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2021. Т. 12, №. 2. С. 127–137.
4. Abd Elaziz M. et al. Digital twins in healthcare: Applications, technologies, simulations, and future trends // Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. 2024. Vol. 14, No. 6. P. e1559.
5. Кокорев Д.С., Юрин А.А. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса // Colloquium-journal. – Голопристанський міськрайонний центр зайнятості. 2019. №. 10 (34). С. 31–35.

***М.А. Идрисова***

*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия  
Институт автоматики и электрометрии СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия*

## **СОЗДАНИЕ БИБЛИОТЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕРФЕЙСА ОПЕРАТОРА ДЛЯ ОБЛАЧНОГО ПРАКТИКУМА ПО ЯЗЫКУ роST**

Современные тенденции цифровизации в образовании способствуют внедрению облачных платформ, которые позволяют моделировать сложные процессы управления и обеспечивают гибкость в обучении. Такие платформы создают безопасную и наглядную среду, где студенты могут тестировать алгоритмы управления и анализировать их результаты без необходимости использования физического оборудования [1].

Для эффективной работы с практикумом необходимо наличие готовых библиотечных элементов интерфейса, которые позволят пользователям контролировать состояние виртуальных объектов и изменять их параметры. Наличие таких элементов обеспечивает удобство взаимодействия с системой, повышает наглядность результатов и снижает затраты времени на разработку.

В работе исследованы существующие подходы к разработке интерфейсных элементов и определены их требования. Разработана библиотека, включающая индикаторы, переключатели, панели мониторинга и графические элементы, обеспечивающие гибкость и удобство взаимодействия пользователя с системой.

По завершении работы будет проведена апробация библиотеки в облачном практикуме по языку роST [2]. Оценена эффективность разработанных элементов с точки зрения удобства использования и функциональности.

Разработанная библиотека интерфейсных элементов позволит упростить работу, сократить временные затраты на разработку и повысить наглядность работы с виртуальными объектами.

### **Литература**

1. *Родченко А.С.* Исследование подходов к разработке виртуальных лабораторных стендов в среде CODESYS // МНСК-2022.
2. *Zyubin V.E. et al.* poST: A process-oriented extension of the IEC 61131-3 structured text language // IEEE Access. 2022.

**А.Д. Ищенко**

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия  
SPIN-код: 1788-2014*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ СЕМАНТИКИ ЛОГИЧЕСКИХ ВЫРАЖЕНИЙ В ГЕНЕРАТОРЕ УСЛОВИЙ КОРРЕКТНОСТИ ЯЗЫКА REFLEX**

Язык Reflex [1] предназначен для программирования контроллеров в системах промышленной автоматизации. Поэтому от программ на этом языке требуется повышенная надежность.

Одним из методов обеспечения надежности программ является метод дедуктивной верификации, основанный на доказательстве условий корректности – формул, порождаемых для пары из программы и требования к ней. Истинность этих формул гарантирует, что программа удовлетворяет требованию.

Ранее для языка Reflex был разработан генератор условий корректности [2], в котором была реализована упрощенная аксиоматика выражений. Она не учитывала частичное вычисление ветвей логических выражений, имеющих в Reflex такую же семантику, что и в Си. В соответствии со стандартом Си, в случае если левый операнд логического И ложен, или левый операнд логического ИЛИ истинен, то правый вычисляться не должен. Данный момент существенен так как правый операнд логического выражения может содержать в себе выражение с побочными эффектами или ограниченной областью определения и включение его вычисления в порожденные условия корректности может привести к некорректным или нереализуемым условиям.

Также реализация не позволяла учитывать возможные результаты логического процесс-ориентированного оператора проверки состояния процесса *process p in state stop / error / inactive / active*.

В этой работе предлагается алгоритм обработки логических выражений в соответствии с семантикой выражений языка Си и с учетом оператора проверки состояния процесса.

Ключевым элементом обработки выражений является структура *ExprGenRes*, отвечающая за хранение следующей промежуточной информации о вычислении выражения: локальное условие, являющееся набором конъюнктов, описывающих предусловие для текущего вычисления; ограничения на состояния процессов; символически вычисленное выражение; состояние переменных после применения побочных эффектов; ограничения на область определения, возникающие вследствие операций деления и взятия остатка; булевый эквивалент выражения, если таковой возможен.

Для констант и переменных никаких условий и ограничений нет, состояние не изменяется, символическим выражением является значение константы или переменной в текущем состоянии, а булевый эквивалент применим для булевых констант.

Для булевого оператора проверки состояния процесса создается пара структур *ExprGenRes* для результатов истинности и лжи. В каждую структуру добавляется ограничение на состояния процессов в соответствии со значением оператора, в остальном, значения полей структуры эквивалентны булевой константе.

Для унарных операторов сохраняются условия, ограничения и состояния результатов операнда, и, соответственно оператору, меняется выражение и его булевый эквивалент.

Для бинарных операторов, не относящихся к делению, взятию остатка и логическому И или ИЛИ, применяется декартово произведение множества результатов операндов, при котором берется конъюнкция условий и ограничений, символические выражения объединяются соответствующим оператором, берется новое состояние правого операнда. Булевый эквивалент для таких операторов не определен. В случае если ограничения операндов противоречат друг другу, то результат отбрасывается.

Для операторов деления и взятия остатка дополнительно происходит расширение ограничения области определения за счет добавления ограничения на ненулевой результат правого операнда.

Для логических И или ИЛИ при декартовом произведении для каждой обрабатываемой пары промежуточных результатов порождается до двух новых результатов. Для логического И в первом результате добавляется условие, что выражение левого операнда ложно (если это не противоречит его булеву эквиваленту), выражение и его булевый эквивалент заменяется на ложь, ограничения и новое состояние берутся у левого операнда. Вторым результатом образуется добавлением условия, что выражение левого операнда истинно, ограничения получают конъюнкцией ограничений двух исходных результатов, выражение и состояния берутся у результата правого операнда, булевый эквивалент не определен. Для Логического И алгоритм аналогичен с заменой лжи на истину и наоборот.

В результате получается множество значений *ExprGenRes*, которые позволяют корректно обработать различные комбинации логических выражений с учетом всех условий и ограничений, и за счет булевых эквивалентов эффективно порождать условия для операций ветвления.

### Литература

1. Зюбин В.Е. Язык «Рефлекс» – диалект Си для программируемых логических контроллеров // Шестая международная научно-практическая конференция «Средства и системы автоматизации» CSAF, 2005. Т. 6. С. 1–6.
2. *Ishchenko A., Anureev I.* Verification Condition Generator for Process-Oriented Programs in Reflex Language Using Isabelle/HOL // 2024 IEEE 25th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), 2024. P. 1820–1825. DOI: 10.1109/EDM61683.2024.10615159.

***В.С. Королев***

*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

## **ВИРТУАЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД: ШЛЮЗ**

Одним из важнейших этапов разработки автоматического управления является отладка управляющих программ, позволяющая предотвратить ошибки и сбои на этапе внедрения. Однако работа с реальными объектами управления зачастую сопряжена с высокими затратами, необходимостью строгого соблюдения безопасности и риском для оборудования. Для оптимизации этого процесса разработка виртуальных лабораторных стендов становится эффективным решением [1].

Проект виртуального лабораторного стенда с эмуляцией шлюза для практикума по процесс-ориентированному программированию направлен на создание среды, где можно исследовать и отлаживать алгоритмы управления, без использования реальных установок. Использование виртуальных объектов управления предоставляет разработчикам и обучающимся возможность тестировать различные режимы работы системы, проводить симуляции отказов и анализировать поведение алгоритмов управления. Это позволяет выявить потенциальные ошибки на ранних этапах.

Шлюз – гидротехническое сооружение, которое обеспечивает перемещение судов между водоемами с разными уровнями воды. С обеих сторон шлюз ограничен воротами, между которыми находится герметичная камера, уровень воды в которой регулируется клапанами.

Принцип работы шлюза заключается в следующем: сначала открываются входные ворота, судно заходит в камеру, затем входные ворота закрываются, начинается переливание воды и ее уровень в камере либо повышается, либо понижается, в зависимости от нужного направления. Состояние клапанов отслежива-

ется датчиками. При этом уровень воды в камере синхронизируется с уровнем водоема, в которое направляется судно. Для контроля выравнивания уровня воды в камере и бьефом используются датчики. Когда вода достигает нужного уровня, соответствующего уровню за выходными воротами, они открываются, подается разрешающий сигнал на движение судна, и судно покидает камеру.

В соответствии с условиями задачи определены сигналы (датчики, индикаторы, исполнительные органы, разработан графический интерфейс и составлен список формализованных требований). Следующим этапом работы планируется имплементация алгоритма управления и его отладка.

### **Литература**

1. *Родченко А.С.* Исследование подходов к разработке виртуальных лабораторных стендов в среде CoDeSys // Выпускная квалификационная работа бакалавра. ФИТ НГУ, 2022.

*А.А. Лебедев*

*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

**РАЗРАБОТКА ВЕБ-ТЕХНОЛОГИИ  
ВИРТУАЛИЗАЦИИ ПЛК  
СРЕДСТВАМИ JAVA-МАШИНЫ  
ДЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ роST-ПРОГРАММ**

Качество образования в области промышленной автоматизации зависит не только от теоретической подготовки студентов, но и от их практических навыков, которые формируются через лабораторные работы и семинары. Современные образовательные технологии, особенно в программировании, обеспечивают аналогичные результаты как при очном, так и при дистанционном обучении. Для разработки управляющих алгоритмов используется ряд языков программирования, и качественная подготовка имеет решающее значение. Ошибки в алгоритмах управления могут привести к финансовым потерям, угрожать жизни и здоровью людей, а также вызвать экологические проблемы. Для проведения занятий требуются ПЛК и лабораторные стенды, которые требуют значительных финансовых затрат, занимают много места и могут выходить из строя по ошибке пользователей, что ограничивает число студентов, работающих с оборудованием. Также существуют тренажеры ПЛК, которые решают часть этих проблем, но имеют ограниченный набор задач, высокую стоимость и сложность тиражирования. Это подчеркивает необходимость разработки программного симулятора ПЛК, что требует создания интерпретатора соответствующего языка. Ранее использовались специализированные программные пакеты, такие как CODESYS и LabView, поддерживающие стандарт IEC 61131-3, однако с развитием облачных технологий эти решения теряют актуальность.

Цель работы – разработка прототипа веб-технологии для виртуализации ПЛК, ориентированной на процесс-ориентированное программирование на языке роST. Для достижения цели решены ключевые задачи, связанные с изучением предметной области, технологий и инструментов для реализации симулятора. Были изучены принципы работы ПЛК, стандарты программирования (в частности, IEC 61131-3), инструменты разработки симуляторов и особенности языка роST. роST является расширением языка Structured Text (ST) и поддерживает удобное программирование управляющих алгоритмов. Язык позволяет работать с гиперпроцессами и состояниями, что значительно упрощает разработку программ для ПЛК.

Основной задачей ПЛК является управление производственными процессами в реальном времени, где сигналы от датчиков обрабатываются и выдаются команды для управления механизмами. ПЛК реализуют эти алгоритмы с помощью программного обеспечения, что позволяет легко изменять и обновлять программы. Стандарт IEC 61131-3 включает языки программирования, такие как Instruction List, Structured Text и графические языки, но его объектно-ориентированные расширения имеют проблемы с переносимостью программ между различными производителями ПЛК. Язык роST позволяет улучшить обработку параллельных процессов и временных интервалов, что важно для автоматизации.

Виртуальный ПЛК должен поддерживать автоматический режим управления на основе алгоритма и ручной режим для имитации действий оператора. Важно, чтобы симулятор выполнял циклическое выполнение программы, поддерживал семантику языка роST и отображал отладочную информацию о состоянии процессов и переменных. Возможность редактирования алгоритмов управления вручную через исходный код на роST значительно повышает гибкость и удобство программирования. Создание такого симулятора позволит улучшить образовательный процесс и повысить эффективность обучения в области промышленной автоматизации.

## Литература

1. IEC 61131-3-Programmable Controllers–Part 3: Programming Languages // International Electrotechnical Commission. 2013.
2. *Werner B.* Object-oriented extensions for IEC 61131-3 // IEEE Industrial Electronics Magazine. 2009. Vol. 3, no. 4. P. 36–39.
3. *Bashev V., Anureev I., Zyubin V.* The poST language: process-oriented extension for IEC 61131-3 structured text // 2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). IEEE, 2020. P. 994–999.

***Н.А. Махов***

*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

## **РАЗРАБОТКА ПРАВИЛ ПРОВЕРКИ ПРОТИВОРЕЧИВОСТИ НАБОРА EDTL ТРЕБОВАНИЙ**

При создании ПО для систем управления и микроконтроллеров нередко возникают сложности во взаимопонимании между инженерами-технологами, формулирующими требования, и программистами, реализующими их. Зачастую проблемы, такие как противоречивость или неполнота условий, появляются еще на этапе подготовки технического задания. Если такие ошибки не выявить вовремя, они могут привести к серьезным последствиям, вплоть до катастрофических.

Для решения задач, связанных с формализацией и верификацией требований киберфизических систем, сотрудники лаборатории киберфизических систем ИАиЭ СО РАН разработали шаблон требований, основанный на управляемой событиями темпоральной логике (Event-Driven Temporal Logic, EDTL) [1].

В процессе разработки системы количество требований может быть значительным, что увеличивает риск случайного составления противоречивых требований. В связи с этим актуальна разработка правил проверки набора требований на противоречивость.

EDTL-требование представляет собой темпоральную комбинацию событий системы, выступающих в роли атрибутов и выраженных булевыми формулами. Два требования считаются противоречивыми, если в системе невозможно их одновременное выполнение.

Разработанные правила проверки противоречивости EDTL-требований не зависят от конкретной модели и определяют противоречивость требований в общем случае. Однако если противоречие проявляется только в отдельных моделях, алго-

ритм не сможет дать однозначный ответ. В таких случаях применяются более сложные методы, требующие дополнительной информации от инженера.

Таким образом, разработанные правила проверки противоречивости EDTL-требований позволяют на ранних этапах выявлять несоответствие условий, снижая вероятность возникновения ошибок при создании программного обеспечения для киберфизических систем.

### **Литература**

1. Zyubin V., Anureev I., Garanina N. et al. Event-Driven Temporal Logic Pattern for Control Software Requirements Specification // LNCS. 2021. Vol. 12818.

***М.А. Набиева***

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия*

**МЕТОДЫ РАСПРЕДЕЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫМИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ  
С ОТСУТСТВИЕМ  
МАСШТАБНОЙ ИНВАРИАНТНОСТИ**

Совершенствование управления технологическими процессами, несмотря на множество проведенных исследований, остается актуальной и не до конца решенной проблемой, обусловленной ее высокой сложностью и многовариантностью.

Большинство производственных процессов являются многопараметрическими и многокритериальными, то есть они описываются множеством переменных или параметров, взаимосвязи между которыми зачастую остаются неясными. При этом значения этих параметров и их динамика во времени определяют качество выпускаемой продукции. Отклонения от установленных технологических норм могут привести к ухудшению свойств конечного продукта, делая его непригодным для дальнейшего применения.

Примеры таких задач, как поиск оптимальных условий проведения технологических процессов; оценка качества, прогнозирование свойств и характеристик объектов процесса в зависимости от параметров формирования и условий эксплуатации, представлены в нефтегазовой, химической, фармацевтической и многих других отраслях промышленности [1].

Решение задач такого типа с помощью традиционных классических методов математического моделирования усложняется, в первую очередь, неопределенностью процесса и отсутствием его математической модели, а также необходимостью выявления закономерностей, которые учитывают множество факторов и

устанавливают количественные взаимосвязи, определяющие в конечном итоге заданные характеристики изделий. Все вышеперечисленные условия делают необходимыми эксперименты для выявления взаимосвязей между параметрами и разработки управляющих алгоритмов. В условиях роста ассортимента продукции, изменений рыночной ситуации и стремления улучшить экономические показатели производства, расходы на такие эксперименты становятся обязательной частью затрат во время эксплуатации. Это обстоятельство требует поиска методов для уменьшения ресурсных затрат на экспериментальную деятельность. Кроме того, предварительный анализ собранных данных и дальнейшее планирование экспериментов также лучше осуществлять с использованием таких методов, что позволяет оптимизировать процесс исследования и повысить его эффективность [2].

В настоящее время существует множество различных подходов к автоматизации технологического процесса практически любого уровня сложности. Незаменимую роль в управлении сложными процессами и обеспечении их бесперебойной работы выполняют распределенные системы управления.

Цель работы – разработка методов и моделей создания распределенных систем управления для многопараметрических, многокритериальных процессов с отсутствием масштабной инвариантности.

Для реализации поставленной цели предполагается рассмотреть применимость распределенных CAN-систем и методов процесс-ориентированного программирования, как наиболее эффективный инструмент для описания распределённых алгоритмов систем управления в области промышленной автоматизации на базе ПЛК [3].

Разработка распределенной системы производится на примере экспериментальной установки термоэлектрохимического оксидирования, перспективного способа обработки поверхности алюминия и его сплавов. Разрабатываемая система управления обеспечивает автоматическое поддержание режимов управления и контроль аварийных ситуаций.

Процесс-ориентированный подход позволяет описывать алгоритм как будто он исполняется на одном микроконтроллере, а потом автоматически разбивает и разворачивает этот алгоритм

на распределённой микроконтроллерной системе. Этот новый концептуальный подход имеет отличие от существующих в том, что описывает управляющий алгоритм на базе модели гиперпроцесса и обеспечивает, тем самым, иерархическую структуризацию программы в виде параллельно исполняемых слабосвязанных процессов [3].

Для реализации прикладного алгоритма управления было предложено использовать процесс-ориентированный язык Reflex [4].

Созданные в рамках исходной гипотезы методы, модели и программно-инструментальные средства обеспечат сокращение трудоемкости создания распределенных микроконтроллерных процесс-ориентированных систем управления и откроют возможность разработки бесшовных методов верификации.

В результате проведенной работы предполагается кроме автоматизации конкретного технологического процесса также исследовать вопрос эффективности представленной информационной технологии для задач унифицированного описания распределенных управляющих алгоритмов.

### **Литература**

1. *Потехин В.В.* Распределенные системы управления в промышленности. URL: <https://synergy-network.ru/wp-content/uploads/2017/12/module-5-lecture-14.pdf>.
2. *Зюбин В.Е.* Создание управляющих алгоритмов сложных технологических процессов // Автоматизация и современные технологии. 2004. № 8. С. 23–31.
4. *Rozov A.S., Zyubin V.E.* Process-oriented programming language for MCU-based automation // 2013 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). IEEE, 2013.
5. *Зюбин В.Е.* Процесс-ориентированное программирование: учеб. пособие. Новосиб. гос. ун-т, 2011. 194 с.

*Д.А. Пермяшкин*

*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

## **МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕСС-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПРОГРАММ**

Одной из главных идей, рассматриваемых в рамках концепции Четвёртой промышленной революции (или же Индустрии 4.0) [1], является минимизация человеческого фактора вплоть до полного исключения человека из цепи управления. Необходимость реализации этой идеи вытекает из того обстоятельства, что производственными процессами на данный момент можно эффективно управлять только в автоматическом режиме из-за их сложности. Но при этом требования к отказоустойчивости управляющих программ никуда не исчезают, поскольку автоматизация производства не уменьшает цену ошибки. Следовательно, требование надежности становится центральным в рамках концепции Индустрии 4.0. Что в свою очередь заставляет исследователей разрабатывать новые парадигмы и технологии для создания программных средств промышленной автоматизации.

Процесс-ориентированная парадигма [2] является одним из новых подходов, направленных на решение задачи технологической поддержки Индустрии 4.0. Данная парадигма уже используется на практике, и в результате практического использования постоянно появляются вопросы, требующие развития концепции.

Пример такого вопроса – вопрос о минимизации ущерба отказов оборудования при их возникновении. В случае отказа система должна оперативно перевести установку в безопасное состояние. Проблемой может стать то, что в штатном режиме данная попытка должна быть отклонена системой по причине нарушения технологического процесса, что в свою очередь приводит к конфликту частей управляющей системы. Человек бы мог решить данный конфликт через супервизорный режим, но челове-

ческий фактор может привести к многим другим проблемам, в том числе и к неправильному управлению системой в супервизорном режиме – например из-за недостатка у оператора достаточных знаний о системе.

Авторами предлагается несколько методов обеспечения отказоустойчивости в случае конфликтов между частями системы за общие ресурсы. Первым методом является алгоритм обнаружения потенциально конфликтующих процессов. Данный алгоритм предполагается использовать на этапе разработки управляющей системы для проверки на потенциальные конфликтные ситуации и упорядочивания порядка исполнения процессов для минимизации такого рода случаев при исполнении программы. Вторым методом является модификация модели состояний процесс-ориентированной парадигмы путем добавления нескольких начальных состояний в один процесс. Модификация позволяет избежать описания потенциально связанных частей алгоритма в разных местах программы, а также конструктивно исключить конфликты множественного доступа к исполнительным органам.

### **Литература**

1. *Philbeck T., Davis N.* The fourth industrial revolution // *Journal of International Affairs*. 2018. Vol. 72, № 1. P. 17–22.
2. *Zyubin V.E. et al.* Towards topology-free programming for cyber-physical systems with process-oriented paradigm // *Sensors*. 2023. Vol. 23, № 13. P. 6216.

***Р.А. Сунатров***

*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ К РАЗРАБОТКЕ ОБЛАЧНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ПРОЦЕСС-ОРИЕНТИРОВАННОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ**

Киберфизические системы являются неотъемлемой частью современной жизни, охватывая как бытовую сферу, так и промышленное производство. Они обеспечивают автоматизацию процессов, что делает их ключевым фактором для повышения эффективности и конкурентоспособности предприятий. Однако применение таких технологий требует глубоких знаний в области программирования микроконтроллеров и управления процессами, что особенно важно в образовательной и производственной среде.

На практике возникают проблемы с доступностью инструментов для обучения программированию киберфизических систем, а также сложности в использовании существующих платформ. Многие из них ограничены лицензиями, привязаны к конкретным устройствам или не поддерживают современных стандартов, таких как роST [2]. Кроме того, отсутствие возможностей для многопользовательского взаимодействия и удаленного доступа препятствует выполнению лабораторных работ, особенно в условиях ограниченных ресурсов или дистанционного обучения.

Для решения этих проблем предлагается разработка облачной платформы для лабораторного практикума на основе языка роST, позволяющей моделировать и визуализировать процессы, тестировать алгоритмы управления и выполнять симуляции в условиях, приближенных к реальным. Платформа будет поддерживать многопользовательский режим и доступ через интернет, что сделает ее удобной и доступной для студентов и специалистов, повышая эффективность обучения и практической подготовки.

**Цель работы:** Исследование подходов к разработке облачного лабораторного практикума по процесс-ориентированному программированию

**Задачи работы:**

- Анализ существующих подходов и инструментов для организации облачных лабораторных практикумов по процесс-ориентированному программированию.
- Формирование списка требования для облачной платформы для лабораторного практикума.
- Конкретизация облачной платформы для лабораторного практикума с использованием языка роST.
- Реализация прототипа облачного лабораторного практикума на основе языка роST.
- Тестирование и оптимизация разработанной платформы.
- Оценка применимости разработанного решения в образовательных и производственных процессах.

**Литература**

1. *Зюбин В.Е.* Процесс-ориентированное программирование: теория и практика. М.: Издательство МГУ, 2015.
2. *Zyubin V.E. et al.* роST: A process-oriented extension of the IEC 61131-3 structured text language // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 35238–35250.
3. *Tanenbaum A.S.* Van Steen M. Distributed Systems: Principles and Paradigms. Pearson, 2017.

***А.В. Столяров***

*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

## **ВИРТУАЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД: ЛИФТ ДЛЯ КОШЕК**

Современное развитие технологий и информатизации привело к существенному росту потребности в эффективных системах автоматического управления. Эти системы активно внедряются в различных областях, начиная от промышленности и транспорта и заканчивая домашними и медицинскими приложениями. Управление сложными системами, состоящими из множества компонентов и взаимодействий, требует надежного и качественного программного обеспечения, отвечающего требованиям безопасности.

Одним из важнейших этапов разработки таких систем является отладка управляющих программ, что позволяет предотвратить ошибки и сбои на этапе внедрения. Однако работа с реальными объектами управления зачастую сопряжена с высокими затратами, необходимостью строгого соблюдения безопасности и риском для оборудования. Для оптимизации этого процесса, разработка виртуальных лабораторных стендов становится эффективным решением [1]. Они позволяют моделировать реальные сценарии, обеспечивая гибкую платформу для тестирования и обучения, а также снижая зависимость от физического оборудования.

Проект виртуального лабораторного стенда лифта для кошек направлен на создание среды, где можно исследовать и отлаживать алгоритмы управления, не прибегая к реальным установкам. Использование виртуальных объектов управления предоставляет разработчикам и обучающимся возможность тестировать различные режимы работы системы, проводить симуляции отказов и анализировать поведение алгоритмов управления. Это позволяет выявить потенциальные ошибки на ранних этапах.

Лифт для кошек – это система вертикального перемещения для кошек. Он состоит из платформы – то, на чём и будет перемещаться животное, дверей, электромотора, осуществляющего работу по перемещению платформы, а также датчики различных показателей, нужных для корректного исполнения алгоритма работы лифта.

Главным механизмом управления является контроллер – устройство, принимающее сигналы от датчиков и управляющее дверьми и платформой в зависимости от этих сигналов.

Принцип работы лифта заключается в следующем: при появлении достаточного веса на платформе, блокируются двери, начинается движение вверх или вниз (этажа всего два), после прибытия платформы на нужный этаж, останавливается движение, разблокируются двери.

В настоящее время сформулированы условия задачи, составлена киберфизическая диаграмма, определены эффекты визуализации и сформулированы требования к управляющему алгоритму. В дальнейшем планируется реализовать компьютерную модель лифта и приступить к отладке алгоритма.

## **Литература**

1. *Родченко А.С.* Исследование подходов к разработке виртуальных лабораторных стендов в среде CoDeSys // Выпускная квалификационная работа бакалавра. ФИТ НГУ, 2022.

***И.М. Черненко***

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия  
SPIN-код: 5183-5204*

## **ЯЗЫК ШАБЛОНОВ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ ДЕДУКТИВНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОЦЕСС-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПРОГРАММ**

Процесс-ориентированное программирование [1] представляет собой перспективный подход к разработке управляющего программного обеспечения. Эта парадигма позволяет описывать программу как упорядоченный набор взаимодействующих процессов. Исполнение программы имеет циклическую основу: на каждой итерации цикла управления все процессы выполняются последовательно в их текущих состояниях.

Управляющее программное обеспечение требует формальной верификации вследствие необходимости обеспечения высокой надежности управляющих систем. Один из методов формальной верификации – дедуктивная верификация, в которой требования к программе представляются в виде логических формул, а соответствие программы требованиям устанавливается с помощью логического вывода. Для каждого цикла в программе задается инвариант цикла – утверждение, которое является истинным при входе в цикл и после каждой его итерации.

Важным классом требований к управляющему программному обеспечению являются темпоральные требования. В дедуктивной верификации процесс-ориентированных программ такие требования задаются в виде инвариантов цикла управления [2]. Для использования значений переменных в различные моменты времени в требованиях используются состояния изменений, представляющие истории изменений значений переменных в программе. Но инварианты, представляющие требования, являются недостаточными для доказательства условий корректности.

Поэтому к инвариантам цикла управления добавляются дополнительные инварианты, определяющие вспомогательные утверждения о программе.

Ранее был предложен подход к автоматизации дедуктивной верификации процесс-ориентированных программ, основанный на шаблонах [3]. В этом подходе требования и дополнительные инварианты задаются с помощью шаблонов, а для доказательства условий корректности применяются леммы, зависящие от типа требования. С каждым шаблоном требований связан соответствующий шаблон дополнительных инвариантов. Подход позволяет строить шаблоны требований из небольшого числа базовых шаблонов, при этом соответствующие шаблоны дополнительных инвариантов и леммы могут быть построены автоматически. В данной работе представлен язык, позволяющий определять шаблоны требований путем комбинирования базовых шаблонов. Мы не приводим полное описание синтаксиса языка, а рассматриваем объявления и определения шаблонов на примерах.

Например, объявление базового шаблона «не позднее, чем через время  $t$  произойдет событие  $A_2$ , и условие  $A_1$  выполняется, пока не произойдет  $A_2$ » имеет следующий вид: *futurereq pattern constrained\_until(const: t formulas:  $A_1, A_2$ ) with constrained\_until\_inv;*, где *constrained\_until* – имя объявляемого шаблона требований,  $t$  – параметр-терм (значениями являются термы),  $A_1, A_2$  – параметры-формулы (значениями являются формулы, включающие экземпляры базовых шаблонов), *constrained\_until\_inv* – имя соответствующего шаблона дополнительных инвариантов.

При определении производного шаблона требований соответствующие шаблон дополнительных инвариантов и леммы не указываются, так как предполагается, что они должны быть порождены автоматически. Например, определение производного шаблона требований «если произошло событие  $A_1$ , то не позднее, чем через время  $t$  должно произойти событие  $A_3$ , и после  $A_1$ , условие  $A_2$  должно выполняться, пока не произойдет  $A_3$ » имеет следующий вид: *derivedreq pattern  $P_1(const: t simple formulas: A_1 formulas: A_2, A_3) = always(formulas : lambda r_2 r_1. \sim A_1(r_1) \vee constrained\_until(const: t formulas: A_2, A_3 final: r_2 current: r_1))$* ; где  $P_1$  – имя определяемого производного шаблона,  $t$  – параметр-терм,  $A_1$  – простой параметр-формула (значениями являются

только комбинации атомарных формул),  $A_2, A_3$  – параметры-формулы, *always* – шаблон требований, утверждающий, что некоторое условие должно выполняться всегда, связанные переменные  $r_1$  и  $r_2$  обозначают состояния изменений:  $r_2$  – конечное состояние, в котором выполняется инвариант цикла,  $r_1$  – текущее состояние, в котором выполняется формула.

Таким образом, в работе представлен язык спецификации производных шаблонов требований. В дальнейшем планируется разработать систему дедуктивной верификации, основанную на этом языке.

### Литература

1. Zyubin V.E. Hyper-automaton: A model of control algorithms // 2007 Siberian Conference on Control and Communications. IEEE, 2007. P. 51–57. DOI: 10.1109/SIBCON.2007.371297.
2. Anureev I., Garanina N., Liakh T. et al. Two-Step Deductive Verification of Control Software Using Reflex // Lecture Notes in Computer Science, 2019. Vol. 11964. P. 50–63. DOI: 10.1007/978-3-030-37487-7\_5.
3. Черненко И.М., Ануреев И.С. Подход к автоматизации дедуктивной верификации процесс-ориентированных программ, основанный на шаблонах: шаблоны, леммы и алгоритмы // Моделирование и анализ информационных систем. 2024. Т. 31 (4). С. 384–425. DOI: 10.18255/1818-1015-2024-4-384-425.

***М.А. Шабанова***

*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

## **РАЗРАБОТКА ПРАВИЛ ПЕРЕВОДА ЯЗЫКА REFLEX НА ЯЗЫК EVENT-B ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТРАНСЛЯТОРА**

Программирование систем управления на языках общего назначения приводит к усложнению архитектуры и алгоритмов, увеличивает затраты на разработку и сопровождение, а также затрудняет тестирование. В условиях растущей сложности промышленных систем это становится особенно критичным, так как исправление ошибок, обнаруженных в процессе эксплуатации, требует значительных затрат. В системах с повышенными требованиями к безопасности такие ошибки могут приводить к серьезным финансовым потерям и экологическому ущербу, что делает надежность программного обеспечения ключевым фактором.

Применение специализированных языков программирования позволяет упростить разработку, повысить читаемость кода и сократить количество ошибок. Одним из таких языков является процесс-ориентированный язык Reflex, разработанный в Институте автоматизации и электрометрии СО РАН для использования в системах промышленной автоматизации [1]. Для доказательства корректности программ, созданных на этом языке, могут применяться формальные методы верификации.

Одним из инструментов формальной верификации является Rodin [2]. Входной язык этого верификатора называется Event-B. Чтобы проверять Reflex-программы, мы должны транслировать их код в Event-B и задавать их свойства в Rodin. Для этого требуется:

1. Сформулировать правила трансляции для преобразования элементов Reflex в эквивалентные элементы Event-B.

2. Разработать автоматизированный транслятор, реализующий эти правила.

3. Исследовать методы, доступные в платформе Rodin, и определить подходящие для Reflex-программ.

В этой работе был проведен анализ семантических особенностей языков Reflex и Event-B, на основе этого сформулированы некоторые правила трансляции, обеспечивающие преобразование конструкций Reflex в эквивалентные конструкции Event-B. Разработанные правила относятся к преобразованию типов данных, объявлению переменных, считыванию входных значений. В дальнейшем планируется разработка правил для трансляции состояний процессов и поддержания их цикличности. Наш подход обеспечивает возможность формальной верификации Reflex-программ на платформе Rodin.

### **Литература**

1. Зюбин В.Е. Язык «Рефлекс» – диалект Си для программируемых логических контроллеров // Шестая международная научно-практическая конференция «Средства и системы автоматизации» CSAF. Т. 6.
2. Jastram M. Rodin User's Handbook URL: <https://www.csa.iisc.ac.in/~deepakd/fmse-2022/refinement/rodin-doc.pdf>.

**Д.Б. Фёдоров<sup>1</sup>, В.П. Куприянов**

*Омский государственный технический университет г. Омск, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 5003-3315

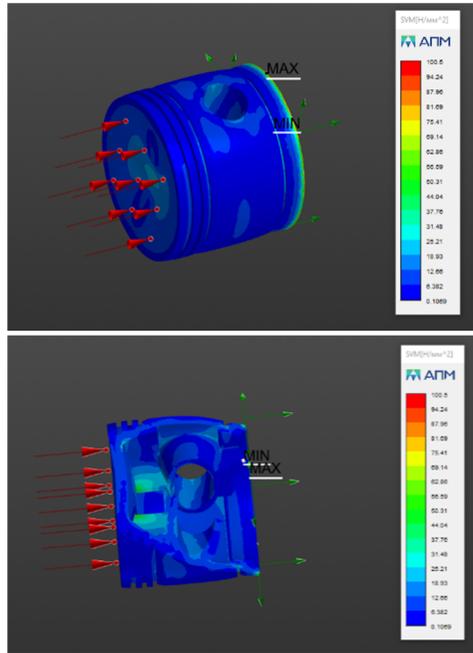
## **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ПОРШНЯ**

На сегодняшний день при разработке технологического оборудования всё чаще применяется автоматизированное проектирование. Это связано в первую очередь с тем, что идёт рост функциональности САД/САЕ-систем, а также с их доступностью. Данные средства реализуют анализ изделия с помощью параметрической трехмерной модели, работу которой симулируют с помощью САЕ-пакета. По результатам проведённого анализа составляются выводы об адекватности модели. На выходе формируется конструкторская документация, подготовленная для современных станков ЧПУ [1].

В данной работе был произведен инженерный анализ тронкового поршня, являющегося важной деталью компрессорных машин. Для инженерного анализа была разработана трехмерная модель поршня в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D [2]. После проектирования был произведён тест детали на устойчивость к давлению 12 бар [3].

При производстве инженерного анализа была определена грань, находящаяся под давлением, выставлено направление давления. Произведена генерация конечно-элементной сетки для дальнейшего воспроизведения симуляции давления на грань. После запуска и осуществления статического расчёта была получена карта результатов прочностного анализа поршня (рис.).

По результатам прочностного анализа модели поршня можно сделать вывод, что модель адекватна и не требует корректировки.



Результаты прочностного анализа поршня

Использование данных систем проектирования и моделирования позволяет улучшить качество проектируемого оборудования, подробно оценить прочностные характеристики проектируемой детали, сократить время работы над улучшением прочностных качеств детали.

### Литература

1. Калашиников А.М., Фот А.Н. Моделирование и анализ компрессорного и теплообменного оборудования с применением компьютерных технологий: практикум: в 2 ч. Ч. 2: Компьютерные технологии в инженерном анализе. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2017. 137 с.
2. Калашиников А.М., Фот А.Н. Моделирование и анализ компрессорного и теплообменного оборудования с применением компьютерных технологий: практикум: в 2 ч. Ч. 1: Трехмерное моделирование. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2017. 134 с.
3. Компрессия в двигателе внутреннего сгорания. URL: <https://mirgm.ru/kompressiya-v-dvigatеле-vnutrennego-s.html> (дата обращения: 13.02.2025).

УДК 004.8

***Е.Д. Волкова, И.А. Гаврученко***

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

## **АНАЛИЗ И ПОДГОТОВКА ТРЕХМЕРНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ**

В современном обществе большое внимание уделяется автоматизации различных процессов, выполняемых человеком. Это связано со многими факторами, такими как снятие нагрузки с человека и уменьшение фактора человеческой ошибки.

Так и в здравоохранении применяется подобная практика. Автоматизация снимает нагрузку с врачей, что позволяет улучшить рабочий процесс самих врачей, а также увеличить количество обслуженных пациентов. В своей работе врачи сталкиваются с такими задачами, которые можно переложить на искусственный интеллект, в частности – определение некоторых диагнозов по визуальным данным.

Нейронная сеть [1] может решить данную задачу, однако для этого ее необходимо обучить. Обучение чаще всего происходит на размеченных данных – наборе «сырых» данных и данных, на которых вручную были отмечены интересующие области.

Цель работы – подготовка трехмерных данных для использования в нейронных сетях для сегментации трехмерных объектов челюсти.

Для задачи сегментирования зуба мудрости из трехмерного объекта челюсти, человек анализирует данные и вычленяет при-

знаки, на основе которых будет обучаться нейронная сеть. Исходные данные представлены в формате OBJ [2]. Пример одного объекта представлен на рис. 1, а именно – зуб мудрости, выделенный на данном трехмерном объекте.

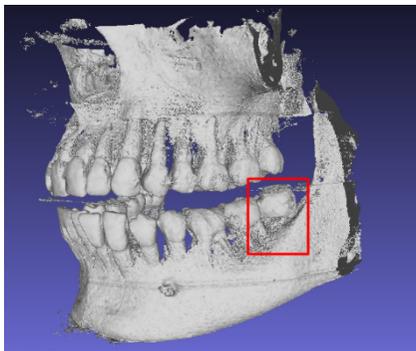


Рис. 1. Выделенный зуб мудрости

При подготовке трехмерных объектов часто используется так называемая маска – это метод, используемый для выбора или исключения определенных элементов данных из обработки (рис. 2). Для создания масок использовалась программа MeshLab [3].

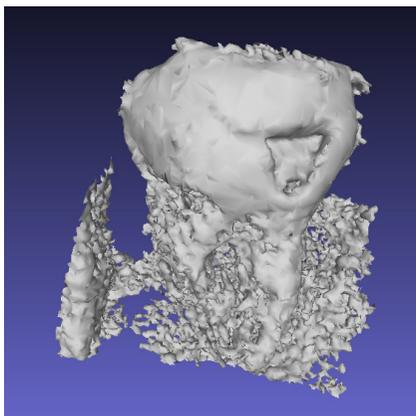


Рис. 2 Пример маски зуба мудрости

После этого маски сохраняются и будут использоваться в дальнейшем при обучении нейронной сети сегментации зуба мудрости из трехмерного объекта челюсти.

Сама по себе модель нейронной сети не взаимодействует с форматом OBJ, но поддерживает формат `pru` [4], представленный библиотекой NumPy [5]. Для этого был дополнительно написан скрипт, который будет преобразовывать данные в формат `pru`.

Нейронные сети могут упростить и ускорить работу врачей, что положительно скажется на лечении пациентов. Однако следует так же учитывать конфиденциальность при анализе и подготовке данных для обучения нейронной сети и не допустить их утечки каким-либо способом.

### **Литература**

1. *Аггарвал Ч.* Нейронные сети и глубокое обучение. М.: Диалектика, 2020. 225 с.
2. `.obj` File Format. URL: <https://docs.fileformat.com/ru/3d/obj/> (дата обращения: 09.01.2025).
3. MeshLab. URL: <https://www.meshlab.net/> (дата обращения: 10.01.2025).
4. `.npy` File Format Documentation URL: <https://numpy.org/doc/stable/reference/generated/numpy.lib.format.html> (дата обращения: 15.01.2025).
5. NumPy Documentation: File I/O. URL: <https://numpy.org/doc/stable/reference/generated/numpy.save.html> (дата обращения: 22.01.2025).

***Е.В. Козлова, В.В. Новый***<sup>1</sup>

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

<sup>1</sup>SPIN-код: 8336-8713

## **ОБНАРУЖЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ СИМВОЛОВ НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ МЕТОДАМИ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ**

Современные технологии обработки и распознавания изображений активно применяются в самых различных областях, от автоматизации документооборота до систем безопасности. Одной из ключевых задач в данной области является распознавание текстовой информации, представленной в виде печатных цифровых символов. Этот процесс часто требует высокоточных методов, способных обеспечивать высокую эффективность и точность при различных условиях, таких как недостаточное качество изображения, отличающиеся шрифты, трудноразличимые по схожести символы и различные шумовые помехи.

Цель работы заключается в разработке приложения для оптического распознавания символов с использованием методов глубокого обучения для распознавания на входном цифровом изображении печатных цифровых символов десятичной системы счисления и распознавания текстов на изображении.

В ходе работы применялись такие методы исследования, как изучение и сравнительный анализ. В качестве материала в исследовании использовались научные статьи, официальные Интернет-ресурсы, документация по применяемым технологиям. Для обучения и тестирования нейронной сети были использованы два набора входных данных, содержащих печатные цифровые символы на белом фоне и цветные символы на цветном фоне. В качестве методов распознавания применяются свёрточные нейронные сети (CNN), оптическое распознавание символов.

Оптическое распознавание символов (англ. optical character recognition (OCR)) – это процесс классификации оптических об-

разов, содержащихся в цифровых изображениях на соответствующие буквенно-цифровые и другие символы [1, с. 9]. Таким образом, оптическое распознавание символов – удобная и гибкая архитектура по преобразованию символов из изображений или сканированных документов в машинно-читаемый текст.

Оптическое распознавание символов включает в себя несколько последовательных этапов: предварительная обработка изображения, сегментация, распознавание символов на изображении и вывод текстового результата.

Цветные изображения часто содержат избыточную информацию, которая не нужна для распознавания текста. Поэтому изображения преобразуются в оттенки серого. Это упрощает дальнейшую обработку и уменьшает объем данных, с которыми работает модель. Изображения могут содержать различные виды шума, такие как пятна, линии или артефакты, которые могут мешать распознаванию текста. Для удаления шума используются фильтры, такие как медианный фильтр или гауссово размытие. Эти методы помогают сгладить изображение и убрать мелкие дефекты [2].

Сегментация текста – это процесс разделения изображения на отдельные текстовые блоки, строки и символы. Этот шаг важен для точного распознавания, так как модель должна обрабатывать текст по частям. Сегментация может быть выполнена с помощью различных методов.

Определенные текстовые блоки сортируются перед этапом распознавания для исключения потери смысловой нагрузки распознаваемого текста. Для этапа распознавания была разработана и обучена свёрточная нейронная сеть. Определяемые блоки символов выделяются на изображении. Результатом оптического распознавания символов является изображение с выделенными печатными символами и выводом текста к изображению.

Таким образом мы получаем самостоятельный программный модуль, который может применяться для распознавания номерных знаков, сигналов светофора, при сканировании документов, автоматизации анализа данных на цифровом изображении при автоматической обработке и многих других видах деятельности.

Заключение. В результате выполнения работы было создано приложение, использующее методы глубокого обучения

для выделения и распознавания заданного набора печатных символов на цифровых изображениях.

### **Литература**

1. *Arindam Chaudhuri, Krupa Mandaviya, Pratixa Badelia, Soumya K Ghosh.* Optical Character Recognition Systems for Different Languages with Soft Computing. Springer, 2017.
2. *Береснев Д.В.* Исследования методов распознавания текстовых документов с использованием компьютерного зрения // Искусственный интеллект в промышленных, коммерческих, медицинских и финансовых приложениях: сборник статей научно-технического семинара студентов кафедры «Инженерной кибернетики». Москва, 30–31 мая 2024 года. М.: Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», 2024. Вып. 2. С. 23–29.

***В.В. Новый***

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь  
SPIN-код: 8336-8713*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ  
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА  
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
УЧЕБНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ\***

При подготовке специалистов в области информационных технологии активно задействуются средства вычислительной техники. В рамках выполнения работ по теме ГПНИ, связанных с использованием методов искусственного интеллекта в учебном процессе рассматривалась подзадача оптимизации использования ресурсов компьютерной техники лаборатории факультета при проведении лабораторных и практических занятий.

Для получения набора данных для обработки и предложений по оптимизации необходимо было учитывать реальное применение и амортизацию вычислительной техники в различных лабораториях. Для этого требовалась разработка программной системы, позволяющей учитывать факты реального применения каждой конкретной единицы вычислительной техники: её состояние (включена или выключена), работу пользователя (есть вход в аккаунт или нет) при условии, что парк вычислительной техники представлен различным аппаратным обеспечением под управлением отличающихся друг от друга операционных систем (далее ОС) (ОС семейства Windows, GNU/Linux, Mac OS X) [1, с. 41].

---

\* Работа выполнялась в рамках НИР «Методы искусственного интеллекта для оптимизации образовательного процесса, № ГР 20210790» задания «Информационные технологии повышения качества образовательного процесса» ГПНИ «Цифровые и космические технологии, безопасность человека, общества и государства».

На первом этапе был проведен анализ подходов к получению подобной информации, а также на основе полученных выводов была разработана программная клиент-серверная система для сбора и периодического обновления набора данных для целей анализа. При проектировании программной системы учитывался ряд факторов: необходимость сбора данных с различных платформ, минимизация потребления ресурсов вычислительной системы в ходе работы клиентской части, минимизация сетевого трафика, возможная интерференция разработанного ПО со средствами программного обеспечения безопасности операционной системы и сетевой подсистемы.

Результатом выполнения данной фазы работы является разработка двух клиентских приложений, представляющих собой службу ОС Windows и, соответственно – демон для ОС семейства GNU/Linux и Mac OS X, а также сервера для сбора данных. Для получения необходимой информации из доступного набора подходов (прямое отслеживание создания сеансов пользователей в операционной системе, работа со счетчиками производительности или данными подсистемы auditd, использованием системы event logging или файлов протоколов /var/run/utmp, /var/log/wtmp, /var/log/auth.log (/var/log/secure)) был выбран подход на основе анализа данных журнала event logging для ОС семейства Windows и соответствующих журналов Unix-подобных систем. Для взаимодействия с агентами на компьютере используется бинарный протокол с активным сервером, собирающим по запросу необходимый набор данных и фиксирующий состояние клиентских узлов. Для идентификации применяются MAC-адреса вычислительных узлов по причине использования DHCP в локальной сети университета. Эксплуатация развернутой системы показала соответствие заявленным требованиям.

Последующие фазы выполнения исследований по указанной теме предполагают пробную реализацию нескольких подходов к прогнозированию затрачиваемых ресурсов и оптимизации использования вычислительной техники в зависимости от потребностей на конкретных занятиях в заданной группе по заданной учебной дисциплине с учётом необходимой производительности, занятости техники, наличия программного обеспечения, износа вычислительной техники и других факторов. В качестве

подходов рассматривается применение генетических алгоритмов [2], искусственных нейронных сетей и методов кластерного и статистического анализа с целью оценки их эффективности и возможности практического использования.

### **Литература**

1. *Новый В.В.* Вопросы программной архитектуры системы учета времени использования компьютерной техники в учебных лабораториях // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 76-й Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 1 марта 2024 г. / Витеб. гос. ун-т ; редкол.: Е.Я. Аршанский (гл. ред.) [и др.]. Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2024.
2. Использование генетического алгоритма для решения задачи распределения учебной нагрузки / Е. А. Корчевская, С. А. Ермоченко, Т. В. Никонова [и др.] // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. 2023. № 3. С. 15–19. URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/39783>.

*П.В. Травничева, А.А. Козлова*

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ФРАГМЕНТОВ ГОЛОСОВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

В современном мире голосовые технологии становятся неотъемлемой частью множества сфер деятельности, включая безопасность, искусственный интеллект, анализ данных и судебную экспертизу. С увеличением объемов голосовых данных возрастает потребность в эффективных методах их анализа и идентификации. Развитие технологий искусственного интеллекта и машинного обучения позволяет значительно повысить точность обработки и классификации аудиозаписей, что особенно актуально в области биометрической идентификации и судебной лингвистики.

Современные системы распознавания речи преимущественно ориентированы на конвертацию аудиофайлов в текст, автоматический перевод и анализ речи [1]. Однако они не всегда способны идентифицировать источник голосовой информации, что может быть критически важным в юридических и криминалистических исследованиях, а также в системах защиты персональных данных. В связи с этим возникает необходимость в разработке программного обеспечения, способного определять принадлежность голосовых фрагментов конкретным говорящим.

Цель работы – разработка программного обеспечения для распознавания речи, обеспечивающего точный анализ голосов, автоматическую генерацию временных меток, повышение точности распознавания, соответствие современным требованиям безопасности и универсальность применения в различных сферах.

**Материал и методы.** Материал исследования – аудиозаписи, содержащие диалоги участников. В работе используются следующие методы: анализ и синтез, практическая реализация.

**Результаты и их обсуждение.** Перед разработкой было изучено множество существующих технологий распознавания речи, включая алгоритмы машинного обучения, методы обработки сигналов и библиотеки.

В результате изучения были выбраны следующие технологии:

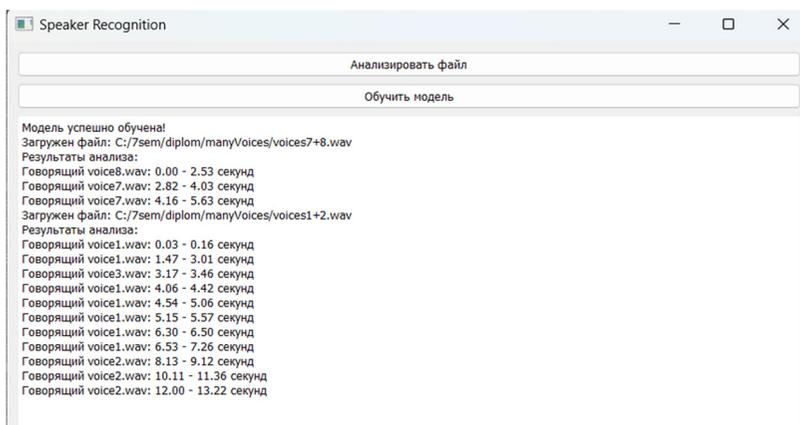
- SpeechBrain;
- Logistic Regression;
- PyQt5;

SpeechBrain: эта библиотека предоставляет предобученные модели, такие как ECAPA-TDNN, которые эффективны для извлечения эмбеддингов голосов. Она была выбрана за свою высокую точность и возможность работы с многоканальными аудиоданными [2].

Logistic Regression: для классификации говорящих была выбрана логистическая регрессия. Этот алгоритм прост в реализации и обеспечивал хорошую производительность на малых наборах данных [3].

PyQt5: библиотека была выбрана за свою гибкость и широкие возможности для создания адаптивных интерфейсов.

Интерфейс приложения для распознавания речи разработан с акцентом на удобство и интуитивность использования (рис.).



Графический интерфейс приложения

Кнопка «Загрузить аудиофайл» позволяет пользователю выбрать и загрузить WAV-файл из файловой системы. При нажатии открывается диалоговое окно, где пользователь может выбрать нужный файл.

Текстовое поле QTextEdit используется для отображения результатов анализа и сообщений об ошибках.

Кнопка «Обучить модель» позволяет пользователю инициировать процесс обучения модели на заранее подготовленных аудиозаписях.

**Заключение.** В разрабатываемом программном обеспечении предпринята попытка создать удобный и эффективный инструмент для распознавания речи и идентификации говорящих на основе аудиозаписей.

### **Литература**

1. *Костюков И.В.* Разработка программного обеспечения для распознавания речи и идентификации говорящих. М.: Наука, 2020.
2. *Шафеев А.П., Соловьев Д.В.* Технологии обработки аудиоданных для распознавания речи. СПб.: БХВ-Петербург, 2019.
3. *Лебедев С.Н.* Программирование на Python для обработки сигналов. М.: ДМК Пресс, 2021.

***Е.А. Корчевская<sup>1</sup>, М.Р. Богатырёва, И.А. Залесский***

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

<sup>1</sup>SPIN-код: 2857-5790

## **ДИАГНОСТИКА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ**

В настоящее время проводятся активные исследования в области медицины с целью оптимизации процесса обслуживания пациентов, а также повышения точности диагностики с использованием методов искусственного интеллекта. Несмотря на то, что окончательный диагноз ставит всегда врач, экспертные системы всё чаще применяются в медицинской практике для помощи специалистам в постановке диагноза и выборе лечения [1].

Существует ряд проблем, которые в совокупности влияют на эффективность и скорость постановки диагноза, что может оказывать серьезное влияние на качество лечения и прогноз пациента. Наличие огромного количества заболеваний со схожими симптомами может затруднить постановку правильного диагноза. Специалистам скорой помощи может не хватить времени для постановки правильного диагноза, также существует проблема нехватки нужного количества специалистов и долгого обучения врачей.

Целью является разработка программного обеспечения для предварительной диагностики кардиологических заболеваний по цифровым изображениям электрокардиограмм.

В качестве данных для обучения нейронной сети использовались цифровые изображения электрокардиограмм с точно диагностируемыми диагнозами (инфаркт миокарда и аритмия), а оптимальной архитектурой выбрана сверточная нейронная сеть [2]. Для каждого из двенадцати отведений проводится предварительная обработка сигнала с помощью методов бинаризации и сегментации, после чего осуществляется выделение границ, исполь-

зуя оператор Собеля. Полученный после предварительной обработки массив подаем на вход нейронной сети. Выходной слой нейронной сети состоит из трех нейронов, каждый из которых соответствует условному диагнозу и отсутствию патологии. Сама нейронная сеть содержит четыре сверточных слоя, которые чередуются со слоями подвыборки. Также для предотвращения переобучения применялась операция Dropout. После сверточных слоев следует полносвязная сеть прямого распространения, состоящая из четырех слоев.

Данное программное обеспечение реализовано в виде telegram-бота с помощью технологий OpenCV, numpy, matplotlib и telebot. Пользователь с помощью приложения telegram добавляет к себе бота и, после отправки цифрового изображения своей электрокардиограммы в двенадцати отведениях, получает рекомендацию.

### **Литература**

1. *Golovko V., Mikhno E., Brich A.* A simple shallow convolutional neural network for accurate handwritten digits classification // Proc. of the 13th on pattern recognition and inform. processing, Minsk, 3–5 oct., 2016 / Publ. Center of BSU Ed.: S. Ablameiko, V. Krasnoproshin. Minsk, 2016. P. 209–212.
2. *Созыкин А.В.* Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей // Вестник ЮУрГУ. 2017. Т. 6, № 3. С. 28–59.

**П.Д. Щетина**

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь*

## **ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВ ПО ТЕМАТИКАМ**

С развитием технологий стремительно меняются и интернет-технологии, что, в свою очередь, приводит к появлению разнообразных способов распространения вредоносных постов в сети. Специализированные службы, включая правоохранительные органы и независимые организации, активно отслеживают социальные сети и интернет-страницы для выявления и блокировки ложных или манипулятивных постов, подрывающих общественное доверие и провоцирующих насилие. Этот процесс требует значительных временных и человеческих ресурсов, что приводит к созданию небольших подразделений, специализирующихся на анализе контента по определённым темам. Для увеличения скорости и классификации постов могут использоваться нейронные сети.

В целом, разработка интеллектуальной системы для классификации текстов по темам обеспечивает повышенную точность, гибкость и эффективность при анализе больших объёмов информации по сравнению с традиционными методами. Это позволяет пользователям быстро получать релевантные результаты, что значительно упрощает процесс поиска и извлечения нужных данных.

Для классификации текстовых постов по тематикам важно понимать основные аспекты работы с текстовыми данным натурального языка.

Токенизация – это фундаментальный процесс, включающий разделение текстовых данных на более мелкие единицы, называемые лексемами. Эти лексемы обычно представляют со-

бой отдельные слова или значимые фрагменты текста. Разбивая входной текст на лексемы, система создаёт более подробное представление, которое позволяет эффективно индексировать и извлекать информацию. Токенизация также включает в себя обработку пунктуации, удаление специальных символов и учёт специфики языка.

Стоп-слова – это часто встречающиеся в языке слова, которые не несут существенного значения для целей поиска, например, «это» или «является». В классификации с помощью нейронных сетей удаление подобных «стоп-слов» может значительно повысить эффективность за счёт уменьшения размера индекса и сосредоточения внимания на более информативных терминах.

Стемминг и лемматизация – это методы, которые помогают сопоставить различные формы слова в процессе поиска, сводя их к базовой или корневой форме. Стемминг подразумевает сокращение слов до их основы путём удаления префиксов, суффиксов и склонений, а лемматизация приводит слова к их канонической форме на основе их словарной статьи. Эти методы обеспечивают равенство различных грамматических форм слова [1].

Модели машинного обучения, в том числе нейронные сети, принимают на вход числовые данные. Тексты, состоящие из слов, не могут быть напрямую обработаны математическими моделями. Преобразование текстов в числовые последовательности позволяет использовать их в качестве входных данных для обучения.

Лучше всего с задачей классификации текстов справляются сети-трансформеры. Эти модели используют механизм внимания, который позволяет сосредоточиться на наиболее значимых частях входных данных, что особенно полезно при работе с текстом, где контекст играет ключевую роль. В отличие от традиционных рекуррентных нейронных сетей, которые обрабатывают данные последовательно, трансформеры обрабатывают все слова в предложении одновременно, что значительно ускоряет процесс.

Трансформеры работают с последовательностями, представляя каждое слово в виде векторного представления (эмбеддинга). Затем они применяют механизм внимания, который позволяет модели оценивать важность каждого слова относительно других слов в контексте. Это означает, что при анализе

предложения модель может «обращать внимание» на слова, которые имеют большее значение для понимания смысла всего текста.

Таким образом, понимая ключевые аспекты разработки интеллектуальной системы для тематической классификации текстов, специалисты могут оптимизировать процесс обработки информации, повысить точность классификации и предоставить пользователям возможность эффективно извлекать наиболее релевантные данные из больших массивов текстов. Это позволит создавать более эффективные инструменты для автоматической категоризации текстов, что значительно упростит поиск нужной информации.

### **Литература**

1. *Кришень Д. А.* Раскрытие возможностей эффективного текстового поиска / науч. рук. С. А. Ермоченко // Молодость. Интеллект. Инициатива: материалы XII Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 26 апреля 2024 года: в 2 т. Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2024. Т. 1. С. 39–40. Библиогр.: с. 40 (5 назв.) – URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/43192> (дата обращения: 02.02.2025).

**В.Н. Ильцевич<sup>1</sup>, С.Н. Чижма<sup>2</sup>**

*Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта,  
г. Калининград, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 4873-1620, <sup>2</sup>SPIN-код: 6792-9211

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ФИЛЬТРАТА УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОДЕИОНИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Установка электродеионизации является одним из основных узлов водоподготовительной установки, предназначенной для получения воды для нужд различных промышленных потребителей: от фармацевтики для приготовления лекарственных средств до электроэнергетики для подпитки паровых котлов. Основным недостатком установки электродеионизации является необходимость периодических химических промывок для предотвращения загрязнения модулей, заражения бактериями или окисления ионообменной смолы [1].

Предиктивная оценка состояния установки позволяет запланировать дату химической промывки, определить необходимые реагенты и согласовать останов с технологическим потребителем. Существующие методы оценки параметров требуют останова модулей электродеионизации или только устанавливают факт загрязнения, что также требует незамедлительного вывода из эксплуатации. Поэтому для прогнозирования снижения производительности установки в исследовании предложен подход, опирающийся на данные. Рекуррентные нейронные сети успешно применяются для анализа загрязнения мембранных установок очистки воды и позволяют спрогнозировать их состояние без вывода из фильтрации [2].

Модель загрязнения установки в данном исследовании прогнозирует значение удельной электропроводности фильтрата

как основного эксплуатационного показателя для потребителя. В качестве входных параметров модели выбраны перепад давления по линии фильтрата, расход по линии фильтрата, удельная электропроводность фильтрата, электрическое сопротивление модуля, рН фильтрата, концентрация оксида кремния в исходной воды [3]. Значения параметров установки электродеионизации получены из оперативных и лабораторных журналов, заполняемых ежедневно на действующем электрогенерирующем предприятии. Концентрация оксида кремния получена методом лабораторного анализа отобранной пробы воды, остальные параметры получены от локальной системы контроля и управления.

Для проектирования искусственной рекуррентной нейронной сети использована открытая библиотека Keras, в качестве типа выбрана сеть долгой краткосрочной памяти (LSTM). Разработанная искусственная нейронная сеть состоит из следующих последовательно соединенных слоев: входной слой, принимающий 7 параметров установки электродеионизации; слой LSTM; слой исключения; слой LSTM; слой исключения; плотный слой; выходной слой со значением удельной электропроводности фильтрата.

Целевое предсказание определяется на 7 дней от текущего при глубине прогноза в 21 день. Время полного цикла загрязнения может варьироваться от месяца до полугода, в зависимости от типа загрязнения. Обученная искусственная нейронная сеть выполняет разовый прогноз со средней абсолютной ошибкой в 0.003 мкСм/см в эксплуатационном диапазоне 0.042 мкСм/см – 0.120 мкСм/см.

При эксплуатации оперативный персонал начинает наблюдение за состоянием установки при превышении предупредительного порога, что не гарантирует наличие активного загрязнения. С использованием системы прогнозирования предупредительный и аварийный пороги устанавливается на предсказанное значение, и оператор получит предупреждение только при подтвержденном случае загрязнения.

Разработанная модель прогнозирования позволяет предсказать будущее значение удельной электропроводности фильтрата через неделю от текущей даты с целью обнаружения тенденции на снижение качества воды. Такой метод предиктивного

диагностирования позволит заранее подготовить необходимые реагенты для химической промывки и согласовать останов с технологическим потребителем. Кроме того, для диагностирования нет необходимости в остановке блоков электродеионизации и соответственно производственного цикла подпитки.

### **Литература**

1. *Mikhaylin S., Bazinet L.* Fouling on ion-exchange membranes: Classification, characterization and strategies of prevention and control // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2016. Vol. 229. P. 34–56.
2. *Hoek E.M.V., Allred J., Knoell T., Jeong B.H.* Modeling the effects of fouling on full-scale reverse osmosis processes // *Journal of Membrane Science*. 2008. Vol. 314. P. 33–49.
3. *Mohammadi R., Tang W., Sillanpaa M.* A systematic review and statistical analysis of nutrient recovery from municipal wastewater by electrodialysis // *Desalination*. 2021. Vol. 498. 114626.

***Н.Н. Жалдак***

*Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет, г. Белгород, Россия*

## **ЛОГИКА ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

Интеллект человека, во-первых, оригинал, моделью, которого служит искусственный интеллект (далее – ИИ), во-вторых, потребитель, для которого ИИ должен быть понятен как средство, как подчиненный партнер или как управляющий людьми. Чем слабее интеллект человека относительно управляемого ИИ, тем хуже работа системы в целом. Снижение интеллекта человека под управлением внешнего ИИ – это деградация человека. Но и интеллект человека не естественный, врожденный. Слепозрячие дети, не обучаемые символическому языку, никакого «естественного» интеллекта не обнаруживают. Поэтому интеллекту искусственного носителя реально противостоит искусственный интеллект человека. Этот интеллект, разум обычно формируется нецеленаправленно путем повседневного общения детей с взрослыми, но для повышения его эффективности и эффективности взаимодействия обоих видов встают задачи: во-первых, его исследовать, во-вторых, целенаправленно формировать, в-третьих, совершенствовать его средства.

Обычно люди не осознают логические средства естественного языка и правила как свою логику, тем не менее, применяют их в мышлении. Это делает человека разумным в смысле умозаключающим. Эту логику назовем логикой естественного языка. Употребляя принятое выражение «естественный язык» надо осознавать его как метафорическое. Обычный символический язык искусственен, создан незапланированным духовным трудом масс людей, и составляет главное в культуре, которая вся искусственна.

Задача тезисов предложить специалистам по ИИ использовать созданную автором систему представления знаний логики

естественного языка и результаты его работы по решению указанных задач [1–5].

Основной методологический принцип построения этой системы, выбора предлагаемых средств и методов – эффективность, т. е. максимизация результатов на все затраты путем минимизации затрат на каждый результат,

В этой системе учтено, во-первых, что обычно люди делают правильные (логичные) выводы не непосредственным оперированием символами, предложениями, а через образное представление того, что символы обозначают [6]. Основной формой изображения отношений между множествами и операций с ними, производимых в рассуждениях из атрибутивных суждений приняты таблицы, как самая древняя и распространенная форма. Во-вторых, человек и его партнер (ИИ) правильно понимают, что обозначает символический знак в речи другого, только если у него такой же, как у партнера, образ того, что обозначает этот знак. Предлагаются линейно-табличные диаграммы существования, чтобы наиболее эффективно представлять образ того, что обозначают речевые логические формы суждений.

Построены наиболее полные диаграммные словари логических форм атрибутивных суждений «естественного» языка о предметах, о местах, о временах, о случаях, о точках зрения. (Пример различия квантификаторов: *все, везде, всегда, всякий раз, для всякого.*) Каждому из 5 словарей соответствуют 149 диаграмм и примерно до 300 форм суждений [1, с. 168–173, 189–190; 2, с. 61–69, 118–125]. Для подтверждения соответствия значений, придаваемых союзам и основным кванторным словам в «естественном» языке, автор провел примерное социолингвистическое исследование с использованием специальной анкеты и собеседования [1, с. 264–276]. Двухязычные диаграммные словари нужны для эквивалентного перевода.

Система рассчитывалась на повышение эффективности логической переработки информации самим человеком без компьютера. Но без передачи логических действий человек может использовать компьютер как чертежное и записывающее устройство. А моделирование этой системы в ИИ можно использовать для повышения интеллектуальной готовности человека к эффек-

тивному взаимодействию с ИИ, т. е. для обучения. Автором разработаны также средства и методы для поэтапного обучения детей с дошкольного возраста логике обычного языка как логике построения линейно-табличных диаграмм и таблиц [3; 4].

Для общения человека и ИИ автор предлагает материал для примерного алгоритма постановки вопросов и ответов для познания любого предмета [5]. В основном, в нем в виде форм вопросов и ответов представлены категории мышления, изложенные Гегелем в «Науке логики». (Примерно  $3^4$  категорий.) Сокращенный вариант системы вопросов использовался в обучении детей.

### Литература

1. Жалдак Н.Н. Изобразительный логико-семантический анализ естественного языка науки. Белгород : ЛитКараВан, 2018. 291 с.
2. Жалдак Н.Н. Прикладная логика : учебник и практикум для вузов. М.: Юрайт, 2020. 248 с. URL: <https://urait.ru/bcode/449507>.
3. Жалдак Н.Н. Образная практическая логика. М.: Моск. филос. фонд, 2002. 408 с.
4. Жалдак Н.Н. Составление задач для целенаправленного формирования логичности мышления: учебное пособие для высших и средних педагогических учебных заведений. М.: Издательство Ипполитова, 2023. 272 с.
5. Жалдак Н.Н. Познавательная логика вопросов и ответов. М.: Издательство Ипполитова, 2023. 224 с.
6. Johnson-Laird P.N. Reasoning without Logic // Reasoning and Discourse Processes. London: Academic Press, 1986. С. 13–49.

**П.А. Решетаров**

*Саратовский государственный технический университет  
им. Гагарина Ю.А., г.Саратов, Россия*

## **ОПИСАНИЕ ГРАФОВОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ МУЗЫКАЛЬНОЙ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

Рекомендательные системы становятся важнейшим инструментом для принятия решений пользователями в условиях информационной перегрузки. Они помогают им находить нужную информацию, товары или услуги, упрощая поиск и повышая удовлетворённость. Современные рекомендации базируются на различных алгоритмах, таких как коллаборативная фильтрация, контентный анализ и гибридные подходы. Однако с усложнением данных и растущими ожиданиями пользователей разработчики ищут новые методы, способные учесть всю сложность взаимодействий. Одним из таких методов являются графовые нейронные сети [1], которые существенно улучшают качество рекомендаций за счёт более точного моделирования связей.

Графовая нейронная сеть представляет собой модель, способную обучаться на данных, представленных в виде графа  $G = (V, E)$ , где  $V$  – множество вершин (узлов), а  $E$  – множество рёбер (связей). Вершины могут содержать признаки (фичи), а рёбра – весовые коэффициенты, определяющие степень связи между узлами.

Перечислим ключевые архитектуры GNN:

– **Graph Convolutional Network (GCN)** – использует спектральные методы свёртки, применяя фильтры на графах для агрегации информации о соседях.

– **Graph Attention Network (GAT)** – вводит механизм внимания, который позволяет модели фокусироваться на более значимых соседних узлах.

– **GraphSAGE** – использует выборку соседних узлов и их агрегацию для построения компактных представлений.

В данной работе была разработана рекомендательная система на основе графовой нейронной сети, использующая данные о музыкальных предпочтениях пользователей. Система была разработана в среде Collab на языке Python с использованием библиотек Pandas и NumPy.

Входные данные системы собраны с музыкального сервиса Last.fm. Основой для анализа послужили т. н. «скроблы» – записи о прослушанных пользователем треках. Для каждой записи хранится информация о пользователе, исполнителе и количестве прослушиваний. Вначале эти данные были сохранены в табличном формате с использованием библиотек Pandas и NumPy. Затем данные были преобразованы в графовую структуру, где вершины представляют пользователей и исполнителей, а рёбра – связи между ними, основанные на количестве прослушиваний. Данная модель использует механизм агрегации соседних узлов для построения эмбедингов пользователей и исполнителей. В процессе обучения использовалась архитектура GraphSAGE, которая позволяет динамически строить представления узлов графа [2].

После обучения модели была построена матрица схожести исполнителей. Для каждого пользователя система определяет наиболее вероятные рекомендации на основе эмбедингов, учитывая как явные (прямые прослушивания), так и неявные (скрытые связи в графе) предпочтения. На рисунке изображен граф сходства артистов, где вершинами являются артисты, а ребра – это связи между артистами. Если сходства между артистами ниже определенного порога, то такие ребра не отображаются. Разработанная система объединила список исполнителей близких по жанру, что дает понять, что рекомендации достаточно точные.

Далее планируется улучшить рекомендации, в том числе за счет подготовки более обширного датасета.



*Д.Т. Мушкамбарян, С.А. Филатов, Н.А. Борсук<sup>1</sup>*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
(Калужский филиал), г. Калуга, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 5316-8493

## **ПОДБОР КНИГ ПО НАСТРОЕНИЮ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: АКТУАЛЬНОСТЬ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Современные технологии персонализации контента изменили способы взаимодействия пользователей с информацией. Видеосервисы (Rutube, VK Video, YouTube), музыкальные платформы (Yandex Music, СберЗвук) и новостные агрегаторы активно используют алгоритмы рекомендаций, основанные на предпочтениях пользователей. Книжная индустрия отстает в таком направлении: большинство систем подбора книг строятся на жанровых предпочтениях и рейтингах и не учитывают эмоциональный контекст читателя.

Чтение книг – глубокий эмоциональный опыт. Люди выбирают книги как по жанру или автору, так и в зависимости от настроения. Кто-то ищет вдохновляющую и легкую книгу после тяжелого дня, кто-то хочет погрузиться в философский роман, заставляющий задуматься. Существующие рекомендательные системы (такие сервисы, как Whichbook, который позволяет задать свое настроение самому, или Readow, который подбирает книги, похожие на заданную пользователем) не обладают механизмами обработки реальных субъективных запросов, выраженных естественным языком («хочу что-то легкое и вдохновляющее» или «ищу мрачный психологический триллер»).

С развитием искусственного интеллекта, особенно нейросетей для обработки естественного языка (NLP) [1], появилась возможность анализировать естественные запросы и предлагать книги, соответствующие психологическому состоянию пользователя. Открывается новый уровень персонализации в сфере подбора литературы.

В настоящее время на рынке есть несколько ИИ-сервисов, предлагающих рекомендации книг, но их функциональность ограничена:

1. Goodreads, LitRes, BookMate – крупнейшие платформы для книголюбов, однако их механизмы рекомендаций основаны на популярных книгах, жанрах и пользовательских рейтингах.

2. Bookclub.ai – использует машинное обучение для подбора, ориентируясь на жанры и популярность, без учета субъективных запросов.

Несмотря на некоторые попытки внедрения ИИ в книжные рекомендации, ни один из существующих сервисов не реализует полноценно подбор книг по субъективным эмоциям и настроению пользователя.

Развитие технологии сталкивается с несколькими ключевыми проблемами:

1. Интерпретация субъективных

Существующие рекомендательные алгоритмы плохо работают с анализом неструктурированных текстовых данных, отражающих эмоции и настроение. Один человек может считать книгу «вдохновляющей», а другой – скучной: усложняется автоматизация процесса.

2. Надежность семантического соответствия.

Важно, чтобы предложенные книги не выдавались случайным образом на основе поверхностного анализа ключевых слов.

3. Дефицит метаданных о книгах.

Большая часть книжных баз данных не включает информацию о тональности и эмоциональном воздействии книг.

4. Оценка эффективности рекомендаций.

В отличие от музыки или фильмов, где можно быстро проверить, нравится ли контент, книга требует значительного времени на прочтение.

Анализировать запросы пользователя и выявлять в них эмоциональные маркеры позволяют алгоритмы обработки естественного языка [2] (например, BERT, GPT). Проблема неоднозначности обработки и восприятия естественного запроса от пользователя остается: один и тот же текст может восприниматься по-разному разными людьми.

Одно из решений – создание базы книг с эмоциональной разметкой. Размечены они могут быть при помощи автоматического анализа рецензий и аннотаций, выявляющих эмоциональную окраску произведений.

Оптимальный вариант – сочетание двух моделей ИИ: одна анализирует текст запроса и выделяет настроение, другая подбирает книги на основе базы эмоционально размеченных произведений. Такой подход позволит учитывать субъективные запросы пользователей и эмоциональную тональность книг. Если пользователи смогут оставлять отзывы о том, насколько предложенные книги соответствовали их запросу, алгоритмы смогут корректировать свои рекомендации.

Подбор книг по настроению с помощью ИИ – перспективное направление, способное значительно улучшить пользовательский опыт. Современные алгоритмы пока не способны полноценно интерпретировать субъективные запросы и подбирать книги по эмоциональному контексту, но развитие технологий NLP и машинного обучения делает эту задачу более осмысленной.

Реализация таких алгоритмов приведет к появлению принципиально новых сервисов, объединяющих технологии и искусство, делая выбор книг интуитивнее и осмысленнее.

### **Литература**

1. *Добрынин В.* Методы машинного обучения для анализа текстов. СПб.: Питер, 2019.
2. *Бондаренко В.* Обработка естественного языка и нейросетевые алгоритмы. М.: Наука, 2021.

*А.Е. Дагаев<sup>1</sup>, Д.И. Попов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Московский политехнический университет, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Сочинский государственный университет, г. Сочи, Россия*

## **МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Создание тестовых материалов является одним из ключевых элементов образовательного процесса в задаче оценивания знаний. Традиционные методы подготовки тестов требуют значительных затрат труда, экспертного участия и большого количества времени, что зачастую приводит к ряду проблем, таких как субъективность оценки, недостаточное разнообразие заданий и сложности в адаптации тестов к индивидуальным особенностям обучающихся. Современные достижения в области искусственного интеллекта (ИИ) и обработки естественного языка (NLP) открывают новые возможности для автоматизированной генерации тестовых материалов.

**Трансформерные модели** (GPT-4, BERT, T5). Используя глубокое обучение и механизм самовнимания, они анализируют тексты, учитывая длинные зависимости, и создают семантически связанные и контекстно релевантные вопросы. GPT и T5 эффективны при формировании вопросов с вариантами ответов и открытых заданий, BERT успешно решает задачи «вопрос–ответ», извлекая задания из структурированного материала.

**Гибридные системы.** Объединяют лингвистические правила с нейронными сетями, обеспечивая баланс между гибкостью, точностью и интерпретируемостью. Применение правил улучшает грамматическую корректность и связность формулировок, а нейросети вносят вариативность и адаптивность.

**Адаптивные алгоритмы.** Динамически изменяют сложность вопросов в зависимости от уровня подготовки учащегося, что способствует персонализации тестирования и снижению стресса.

Экспериментальные исследования подтверждают, что задания, генерируемые ИИ, повышают вовлеченность студентов и точность оценки их знаний. Например, в работе [1] отмечает, что большие языковые модели (LLM) улучшают образовательный процесс за счет создания вопросов с глубокой семантической связностью. Исследование [2] подчеркивает важность учёта когнитивных факторов при использовании LLM для генерации тестов, демонстрируя, что оценка с применением ИИ лучше отражает когнитивные процессы человека. При этом модели, обученные на большом объеме данных, выявляют языковые паттерны и лучше выделяют ключевые идеи.

Однако массовому внедрению трансформерных моделей на данный момент препятствуют следующие ограничения:

1. Обучение и дообучение больших языковых моделей требует значительных вычислительных ресурсов.

2. Модели зависимы от обучающих данных, что может приводить к ошибочным результатам из-за их возможного низкого качества относительно поставленной задачи.

Для преодоления перечисленных ограничений исследователи предлагают гибридные подходы, сочетающие трансформеры с системами проверки на основе правил. Такие методы объединяют алгоритмы NLP, лингвистические правила и машинное обучение, что позволяет обеспечить надежность, адаптивность [3; 4] и контроль качества генерируемых вопросов. Исследования [5] демонстрируют, что сочетание правил с нейросетевой генерацией повышает семантическую точность и снижает двусмысленность формулировок.

Адаптивные методы, использующие алгоритмы машинного обучения для динамического изменения сложности заданий, способствуют персонализации тестирования. Современные адаптивные системы оценивают знания учащегося и корректируют сложность вопросов, оптимизируя структуру теста. Исследование [6] показывает, что адаптивное тестирование снижает уровень стресса у учащихся и способствует лучшему усвоению материала.

Развитие методов генерации тестов направлено на повышение объективности материалов и совершенствование динамиче-

ской адаптации вопросов. Применение интеллектуальных технологий автоматизирует, оптимизирует и персонализирует оценивание знаний, что положительно влияет на эффективность образовательного процесса.

### **Литература**

1. *Biancini G., Ferrato A., Limongelli C.* Multiple-choice question generation using large language models: Methodology and educator insights // Adjunct Proceedings of the 32nd ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization. 2024. P. 584–590.
2. *Guo S. et al.* A survey on neural question generation: Methods, applications, and prospects // arXiv preprint arXiv:2402.18267. 2024.
3. *Popov D. I.* Adaptive testing algorithm based on fuzzy logic // International Journal of Advanced Studies. 2013. Vol. 3, no. 4. C. 23–27.
4. *Ostroukh A. V. et al.* Development of the rules base for an expert system choice adaptive learning strategy // ARP Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. Vol. 10, no. 10. P. 4430–4435.
5. *Gašpar A., Grubišić A., Šarić-Grgić I.* Evaluation of a rule-based approach to automatic factual question generation using syntactic and semantic analysis // Language resources and evaluation. 2023. Vol. 57, no. 4. P. 1431–1461.
6. *Halkiopoulos C., Gkintoni E.* Leveraging AI in e-learning: Personalized learning and adaptive assessment through cognitive neuropsychology – A systematic analysis // Electronics. 2024. Vol. 13, no. 18. P. 3762.

***И.С. Суворов, В.Е. Драч<sup>1</sup>***

*Сочинский государственный университет, г. Сочи, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 9241-0460

## **ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ПОМОЩИ РЯДОВ ТЕЙЛОРА**

Развитие ИИ в России и мире является индикатором технологического прогресса [1]. Внедрение ИИ в медицину, образование, финансы и промышленность требует оптимизации гиперпараметров моделей [2]. Их корректная настройка предотвращает переобучение и затухание градиентов, влияя на производительность. Ключевой фактор – точность: минимальные отклонения критичны при обработке больших данных, особенно в здравоохранении. Таким образом, точность – не просто метрика, а определяющий параметр надежности и эффективности ИИ-систем [3].

Оптимизация гиперпараметров нейронных сетей – это важный процесс, который, в свою очередь, напрямую влияет на качество и скорость обучения моделей. Для того, чтобы улучшить их производительности часто применяются различные модификации, каждая из которых может быть наиболее подходящей для определённого вида задач. Например, в задачах классификации могут использоваться различные подходы к настройке архитектуры сети, выбора функции активации, а также метода оптимизации. В некоторых случаях эффективность таких модификаций можно повысить при помощи введения дополнительных коэффициентов, таких как мультипликаторы. Однако этот подход не всегда может сработать, особенно когда возникает проблема затухания градиента, которая может существенно замедлить и даже остановить обучение модели. Чтобы найти решение этой проблемы, можно применить некоторые математические методы, такие как разложение функции активации в ряд Тейлора. Эта операция позволяет аппроксимировать функцию с помощью поли-

нома, что может упростить вычисления и снизить затухания градиента. К примеру, разложив сигмоиду в ряд, можно получить более устойчивую аппроксимацию, которая будет лучше передавать градиенты через слои сети. Это особенно полезно в глубоких архитектурах, где проблема затухания градиента является большой проблемой. Данный метод открывает возможности для создания более гибких и адаптивных моделей, которые могут быть, в свою очередь, настроены под конкретные задачи, например, в задачах обработки естественного языка или компьютерного зрения, где требуется высокая точность и устойчивость к затуханию градиента, такие методы могут оказаться особенно полезными.

Для демонстрации эффективности метода рассмотрим классическую задачу распознавания рукописных цифр. Эксперимент проведём в среде Google Colab, используя библиотеку PyTorch и базу данных MNIST, которая содержит более 60 000 изображений рукописных цифр. Цель эксперимента – сравнить производительность стандартной сигмоидальной функции активации с её модифицированной версией, полученной путём разложения в ряд Тейлора. В первой части эксперимента была использована стандартная сигмоидальная функция активации с добавлением мультипликатора. Это позволило немного ускорить процесс обучения, однако проблема затухания градиента оставалась актуальной, особенно в глубоких слоях сети. Во второй части эксперимента сигмоида была заменена на её аппроксимацию, полученную с помощью разложения в ряд Тейлора. Такой подход позволил снизить влияние затухания градиента и улучшить передачу ошибки через слои сети. Результаты эксперимента показали, что использование модифицированной функции активации привело к снижению потерь примерно на 20 % по сравнению с базовой версией. Это подтверждает, что разложение сигмоиды в ряд Тейлора может быть эффективным способом улучшения производительности нейронной сети, особенно в задачах, где затухание градиента является критической проблемой [4].

Таким образом, можно сделать вывод, что модификация функции активации с использованием математических методов, таких как разложение в ряд Тейлора, способна повысить эффективность обучения нейронных сетей. Однако важно учитывать, что успех такого подхода зависит от конкретной задачи и архи-

тектуры модели. Для более точной оценки эффективности метода рекомендуется проводить дополнительные эксперименты на различных наборах данных и с разными конфигурациями сети.

### **Литература**

1. Цифровая экономика и системная цифровая трансформация: монография / А. С. Копырин, Е. В. Видищева, В. В. Коваленко и др. Сочи: СГУ, 2023. 196 с.
2. *Ильичев В.Ю., Драч В.Е., Забусова П.А., Капитонова М.С.* Использование искусственного интеллекта для выявления и предотвращения мошенничества при закупках // Системный администратор. 2024. № 4 (257). С. 92–96.
3. What is AI?. URL: <https://www.ibm.com/topics/deep-learning>. (дата обращения 6.02.2025).
4. Extending PyTorch with Custom Activation Functions. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/extending-pytorch-with-custom-activation-functions/> (дата обращения: 06.02.2025).

***С.П. Никитенкова***

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
г. Нижний Новгород, Россия*

## **ОБНАРУЖЕНИЕ МОШЕННИЧЕСТВА В ФИНАНСОВЫХ ТРАНЗАКЦИЯХ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Ежегодно мошеннические финансовые транзакции приводят к потерям в миллиарды долларов и становятся все более серьезной проблемой для компаний и отраслей. Традиционные методы, такие как ручные проверки и инспекции, являются неточными, дорогостоящими и требуют много времени для выявления таких мошеннических действий. С появлением искусственного интеллекта подходы, основанные на машинном обучении, широко используются для обнаружения мошеннических транзакций путем анализа большого количества данных.

Финансовые транзакции генерируют большой объем сложных и разнообразных данных. Доступ к ним ограничен или вообще невозможен из-за проблем с конфиденциальностью. Поэтому исследования по обнаружению мошеннических транзакций обычно проводятся на синтетических наборах данных, что позволяет протестировать различные методы обнаружения мошенничества в сопоставимых условиях.

Наборы данных, используемые для обучения моделей машинного обучения для обнаружения мошеннических транзакций, несбалансированы, так как содержат гораздо больше законных транзакций, чем мошеннических. Поскольку методы обучения обычно пытаются минимизировать функцию потерь, экземпляры класса меньшинства с большей вероятностью будут классифицированы неправильно, в то время как экземпляры класса большинства обычно классифицируются правильно.

В работе использовался набор данных, созданный с помощью симулятора PaySim [1]. Были получены и проанализированы

результаты обнаружения мошеннических транзакций различными методами машинного обучения: RandomForest, LightXGBoost, XGBoost, LogisticRegression. На основании численных экспериментов наиболее эффективным по точности классификации оказался алгоритм RandomForest, наименее эффективным – LogisticRegression.

Для устранения дисбаланса классов были применены алгоритмы семплирования: ADASYN, SMOTE, SMOTE-Tomek Link [2]. После снижения дисбаланса классов вновь сравнивались результаты работы классификаторов. Выявлено, что разные методы балансировки дают разные результаты детектирования истинно-мошеннических операций, повышая или понижая число операций, определенных классификатором как ложно-мошеннические. На основании численных экспериментов наиболее эффективным по точности классификации мошеннических транзакций оказался алгоритм RandomForest при семплировании данных с использованием алгоритма SMOTE. Так же было проанализировано влияние объема данных на метрики модели обнаружения мошеннических транзакций.

Чтобы понять, какие признаки важны для каждого конкретного классификатора был применен метод SHAP (SHapley Additive exPlanations) [3]. Было получено, что для всех классификаторов несколько признаков являются общими, в то время как часть признаков рассматриваются как неважные, что может служить объяснением различия в полученных результатах.

## Литература

1. Lopez-Rojas E., Elmir A., Axelsson S. PaySim: A financial mobile money simulator for fraud detection // 28th European Modeling and Simulation Symposium, EMSS, Larnaca. Dime University of Genoa, 2016. P. 249–255.
2. Swana E.F., Doorsamy W., Bokoro P. Tomek link and SMOTE approaches for machine fault classification with an imbalanced dataset // Sensors. 2022. Vol. 22, no. 9. P. 3246.
3. Li Z. Extracting spatial effects from machine learning model using local interpretation method: An example of SHAP and XGBoost // Computers, Environment and Urban Systems. 2022. Vol. 96. P. 101845.

**Т.И. Гарифуллин<sup>1</sup>, Н.А. Гарифуллина<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Лицей № 58, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>SPIN-код: 1214-6913

## **ANSWERTHIS!**

В современном информационном обществе, где объем данных постоянно растет, возникает необходимость в эффективных инструментах для обработки и извлечения полезной информации из разнообразных документов.

«Последние несколько лет мы наблюдали за тихой революцией в сфере искусственного интеллекта. Сегодня начинается новая захватывающая эпоха. Доступ к информации, создание контента, удовлетворение потребностей клиентов, сами принципы ведения бизнеса – все эти области ждут фундаментальные изменения» – так эксперты Accenture описывают ситуацию на рынке генеративного ИИ [1].

Текстовая информация окружает нас повсюду. Наш день начинается с просмотра больших объемов текстовых данных в виде текстовых сообщений, электронных писем, обновлений в социальных сетях и записей в блогах.

Векторная база данных индексирует и хранит векторные вложения для быстрого извлечения и поиска сходства с такими возможностями, как CRUD-операции, фильтрация метаданных, горизонтальное масштабирование и бессервисный доступ [2]. Она оперирует векторами, поэтому способ ее оптимизации и запросов совершенно другой. В векторных базах данных мы применяем метрику подобия, чтобы найти вектор, наиболее похожий на наш запрос. Векторная база данных использует комбинацию различных алгоритмов, которые все участвуют в поиске приближенных ближайших соседей (ANN). Эти алгоритмы оптимизируют поиск с помощью хеширования, квантования или поиска на основе графиков.

Проект представляет собой систему для автоматизированного ответа на вопросы пользователя с учетом дополнительной релевантной информации.

Проект состоит из нескольких сервисов, которые запускаются в отдельных контейнерах и взаимодействуют друг с другом.

Векторная база Weaviate (контейнеры “Vector DB” и “Vectorizer Model”) – база данных для хранения и получения релевантной информации [3].

Language Model – экземпляр контейнера Ollama для работы с большими языковыми моделями.

API – диспетчер остальных контейнеров. Langchain для создания «цепочек» взаимодействия, FastAPI и langserve для программного интерфейса.

Client и Admin – GUI для взаимодействия с инструментом, реализованы с помощью Streamlit [4].

Контейнеры запускаются в среде Docker, используя Docker Compose.

На сегодняшний день LLM страдают от некоторых недостатков [5]:

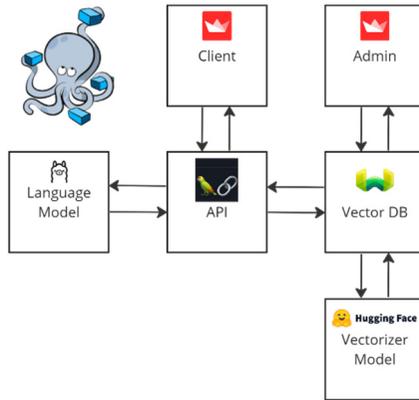
- 1) они статичны;
- 2) им не хватает знаний в конкретной предметной области;
- 3) они функционируют как «черные ящики»;
- 4) галлюцинации.

Общий тренд в направлении искусственного интеллекта и анализа данных в последнее время указывает на высокую актуальность такого рода проектов. Retrieval Augmented Generation (RAG) обеспечивает возможность извлекать информацию из больших объемов текста, что делает ассистентов более устойчивыми к изменениям и обновлениям в информационных источниках. Продукты, основанные на RAG, могут улучшить опыт клиента, предоставляя более точные и полезные ответы на запросы, что особенно важно в сфере обслуживания клиентов.

Таким образом, создан MVP (минимально жизнеспособный продукт) инструмента для работы с RAG, который будет дорабатываться и применяться на практике.

Ссылки на ресурсы: GitHub <https://github.com/Murkat-git/AnswerThis>

## Docker Compose



## Литература

1. Тихая революция: как большие языковые модели изменят бизнес // РБК. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/cmrm/65113f2e9a79473de4a72e13> (дата обращения: 10.12.2025).
2. What is a Vector Database & How Does it Work? Use Cases + Examples Pinecone. URL: <https://www.pinecone.io/learn/vector-database/> (дата обращения: 10.12.2025).
3. Vector Database // Weaviate - Vector Database. URL: <https://weaviate.io/platform> (дата обращения: 10.12.2025).
4. A faster way to build and share data apps // Streamlit. URL: <https://streamlit.io/> (дата обращения: 10.12.2025).
5. Retrieval Augmented Generation (RAG) // Pinecone. URL: <https://www.pinecone.io/learn/retrieval-augmented-generation/> (дата обращения: 10.12.2025).

**Т.И. Гарифуллин<sup>1</sup>, Н.А. Гарифуллина<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Лицей № 58, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>SPIN-код: 1214-6913

## **КОТ. КРАТКИЕ ОТЗЫВЫ О ТОВАРАХ**

Продающий отзыв – миф или реальность? Он вообще работает? И кто их пишет: покупатели, владельцы сайтов, профессиональные копирайтеры?

По исследованиям [1] более 8 человек из 10 читают отзывы и делают выбор, основываясь на них. Мужчины, и женщины практически одинаково интересуются отзывами о товарах и работодателе, подавляющее большинство людей читают отзывы непосредственно перед покупкой.

В 2021 году на Яндекс.Маркете появились отзывы о товарах, написанные нейросетью по комментариям покупателей на сервисе. По данным Яндекс.Маркета, товары с отзывами покупают на 17 % чаще.

Программа, обобщающая отзывы из интернет-магазинов, могла бы стать полезным и интересным проектом NLP. Этот тип программы потенциально может помочь потребителям быстро понять общее мнение о продукте на основе большого количества отзывов, что может сэкономить время при совершении покупок онлайн.

Hugging Face [2] – американско-французская компания, разрабатывающая инструменты для создания приложений с использованием машинного обучения. Она наиболее известна своей библиотекой Transformers, созданной для приложений обработки естественного языка, и своей платформой, которая позволяет пользователям обмениваться моделями машинного обучения и наборами данных [3]. Transfer learning, при котором модель сначала предварительно обучается на задаче с большим объемом данных, а затем настраивается на последующей задаче, стало мощной техникой обработки естественного языка (NLP). Эффек-

тивность Transfer learning привела к разнообразию подходов, методологии и практики [4].

Для получения готового продукта было написано расширение для Google Chrome на языке JavaScript, которое должно находить нужный для обобщения текст.

Для передачи данных модели был написан API на Python с помощью библиотеки FastAPI. Для круглосуточной работы сервера были рассмотрены несколько сервисов: Heroku, Firebase, PythonAnywhere, Deta. В итоге был найден сервис Ngrok [5] (<https://ngrok.com/>).

Были выбраны и обучены несколько моделей, которые подходят для задачи обобщения текста. В таблице приведены результаты их обучения по метрике ROUGE. Наилучший результат показала модель PEGASUS, которая была специально создана для обобщения [6].

Таблица 1

### Результаты обучения моделей

	Epochs	rouge1	rouge2	rougeL	rougeLsum
<b>mT5</b>	6	17.9848	10.0593	17.6562	17.7279
<b>PEGASUS</b>	1	20.1058	12.8776	19.6643	19.735
<b>BART</b>	10	18.1988	9.8264	17.9054	17.8739
<b>T5</b>	6	20.0796	11.2549	19.6852	19.7688
<b>T5 with prefix</b>	6	20.0184	11.4107	19.717	19.7214

Для эмоциональной окраски выбрана уже обученная модель [7]. Модифицирован API, чтобы возвращался не текст, а JSON объект с текстом обобщения отзыва и его окраской.

Для окрашивания отзывов в цвета был модифицирован плагин: красный – негативный, жёлтый – нейтральный, зелёный – позитивный.

Добавлена поддержка для сайтов Яндекс.Маркет, WildBerries, Ozon.

Нейронные сети [8] – мощный инструмент искусственного интеллекта, позволяющий решать разнообразные задачи.

Результат – модель машинного обучения, способная обобщить отзывы, записав их в кратком виде.

*Ссылки на ресурсы:*

Код для обучения

<https://www.kaggle.com/code/garifullintimur/summarization-trainer-amazon>

Исходный код расширения

<https://github.com/Murkat-git/KOT-plugin>

Исходный код

API <https://github.com/Murkat-git/summarizationAPI>.

## **Литература**

1. Исследование: влияние отзывов на мнение потребителя // Маркетинг на vc.ru. URL: <https://vc.ru/marketing/91417-issledovanie-vliyanie-otzyvov-na-mnenie-potrebitelya> (дата обращения: 10.12.2024).
2. The AI community building the future // Hugging Face. URL: <https://huggingface.co/> (дата обращения: 10.12.2024).
3. Hugging Face // Википедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Hugging\\_Face](https://ru.wikipedia.org/wiki/Hugging_Face) (дата обращения: 10.12.2024).
4. Exploring the Limits of Transfer Learning with a Unified Text-to-Text Transformer. URL: <https://arxiv.org/abs/1910.10683v3> (дата обращения: 10.12.2024).
5. Online in One Line // ngrok. URL: <https://ngrok.com/> (дата обращения: 10.12.2024).
6. google/pegasus-large // Hugging Face. URL: <https://huggingface.co/google/pegasus-large> (дата обращения: 10.12.2024).
7. cardiffnlp/twitter-roberta-base-sentiment // Hugging Face. URL: <https://huggingface.co/cardiffnlp/twitter-roberta-base-sentiment> (дата обращения: 10.12.2024).
8. Denis Rothman. Transformers for Natural Language Processing and Computer Vision: Explore Generative AI and Large Language Models with Hugging Face, ChatGPT, GPT-4V, and DALL-E 3, Packt Publishing Ltd, 2024. Изд. 3. С. 728.

**В.Д. Полежаев<sup>1</sup>, Л.Н. Полежаева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Московский финансово-юридический университет МФЮА,  
г. Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,  
г. Москва, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 3444-6612, <sup>2</sup>SPIN-код: 9368-0622

## **РИСКИ, ВЫЗОВЫ И ПРОБЛЕМЫ В ИЗУЧЕНИИ МАТЕМАТИКИ, СВЯЗАННЫЕ С РАЗВИТИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

Современное образование переживает трансформацию под влиянием технологий искусственного интеллекта (ИИ). Интеграция ИИ в учебные процессы открывает новые возможности для персонализации обучения, автоматизации рутинных задач и повышения доступности образования. Однако эти изменения сопровождаются вопросами о балансе между технологиями и ролью педагога. Развитие искусственного интеллекта (ИИ) трансформирует образовательные практики, предлагая новые инструменты для решения математических задач. Однако широкое внедрение ИИ в обучение сопряжено с рисками, угрожающими фундаментальным навыкам мышления, академической честности и глубине понимания предмета.

Владимир Путин на Совете по науке и образованию указал на серьёзные проблемы в обучении математике и другим естественно-научным дисциплинам в РФ. По словам Президента, школьники зачастую теряют интерес к изучению этих предметов из-за содержания учебных программ и отсутствия квалифицированных учителей-предметников.

Математика традиционно считается дисциплиной, формирующей логическое мышление, креативность и способность к абстрагированию. Однако с появлением ИИ-инструментов, таких как символьные калькуляторы (Wolfram Alpha), решатели задач (Photomath) и генеративные модели (ChatGPT), процесс обучения

претерпевает радикальные изменения. Если ранее студенты тратили часы на поиск решений, то сегодня алгоритмы предоставляют ответы мгновенно. Это ставит перед образовательным сообществом вопросы: Как ИИ влияет на формирование математической интуиции? Какие риски возникают для академической культуры? Возможно ли сохранить баланс между технологиями и классическими методами обучения?

Цель работы – систематизировать риски, связанные с интеграцией ИИ в изучение математики, и предложить меры по их снижению. Математика развивается через поиск неочевидных решений и эксперименты. ИИ, предлагая «готовые» алгоритмы, подавляет творческое мышление. ИИ-инструменты снижают потребность в самостоятельном анализе. Например, платформа Photomath, распознающая рукописные уравнения через камеру, предоставляет пошаговые решения, но не требует от пользователя понимания логики действий. Студенты, регулярно использующие подобные приложения, не способны воспроизвести решение аналогичной задачи без помощи ИИ.

ИИ-системы могут давать неточные или неполные решения, особенно в сложных задачах. Хорошо известно, что алгоритмы Mathematica и MATLAB автоматизируют вычисления, а это приводит к «эффекту черного ящика»: студенты воспринимают математику как набор инструкций, а не как систему взаимосвязанных концепций. ИИ-системы, особенно генеративные модели, склонны к ошибкам в нестандартных задачах. В 2023 году команда исследователей из Университета Пердью проанализировала ответы ChatGPT 4 на 517 вопросов из программирования, размещенных на платформе для Stack Overflow. В результате больше половины ответов оказались неверными. Учащиеся, не обладая достаточной подготовкой, принимают их за истину.

Еще более опасны ошибки в интерпретации условий. Так, алгоритм AlphaGeometry от DeepMind, разработанный для доказательства теорем, в тестах 2024 года некорректно применял аксиомы к задачам с неполными данными, что привело к «доказательствам» ложных утверждений [1]. В 2023 году алгоритм «Яндекс.ЕГЭ» (тренажёр для подготовки) некорректно оценивал решения задач с параметрами, что привело к жалобам учеников на

«несправедливые» результаты. Алгоритм GPT 4 при решении задач на теорию вероятностей иногда путает условные и безусловные вероятности.

В школах растет число случаев, когда ученики загружают задания в ChatGPT, а затем копируют решения. По данным Института образования ВШЭ (2024), 30 % учащихся 7–9 классов признались, что перестали пытаться решать задачи сами, если ИИ дает готовый ответ. Довольно много заданий ЕГЭ (не только по математике) успешно выполняются чат-ботом. Некоторые студенты математических направлений подготовки используют ChatGPT для генерации доказательств теорем, что приводит к пробелам в понимании базовых концепций (например, принципа математической индукции). При изучении геометрии студенты используют GeoGebra для автоматического построения графиков, но теряют навык ручного черчения и визуализации задач.

Постоянная доступность ИИ-помощников снижает уверенность учащихся в своих силах. Студенты, привыкшие к использованию ИИ, испытывают стресс на экзаменах без доступа к технологиям. У детей формируется «синдром цифровой беспомощности». В школах ученики, полагаясь на ИИ-калькуляторы, путаются в арифметических операциях, так как не тренируют устный счет. Школьники с дислексией, зависящие от ИИ-переводчиков математических текстов, теряют мотивацию к освоению «обычных» методов.

Какие же меры могут смягчить негативное влияние ИИ на математическое образование? Укажем лишь некоторые из них:

- Интеграция ИИ как инструмента, а не замены обучения: например, использовать Wolfram Alpha только для проверки решений, найденных вручную, а не для их генерации.

- Усилить акцент на проектную работу: чаще предлагать задания, где ИИ применяется для анализа данных, но выводы формулирует сам студент.

- Активнее заниматься формированием критического мышления учащихся: включать в задания анализ ошибок ИИ, предлагать студентам найти и исправить неточности в решениях, сгенерированных ChatGPT [2].

Хотя ИИ имеет потенциал для улучшения результатов обучения студентов, он остается проблемой для большинства ученых, педагогов и практиков в области образования. Опрос об осведомленности преподавателей вузов о дидактическом и методическом потенциале ИИ технологий [3] показал, что «опыт практического применения инструментов ИИ в педагогическом процессе ограничивается малочисленными случаями использования конкретных технологий в преподавании конкретных аспектов дисциплин.» Необходимо повышать квалификацию преподавателей по цифровой педагогике. В Финляндии 70 % учителей математики прошли обучение работе с ИИ-инструментами в 2023 году.

ИИ в математике – это «двусторонняя монета». С одной стороны, он ускоряет вычисления и делает обучение интерактивным, с другой – создает риски, угрожающие фундаментальным навыкам мышления, глубине понимания предмета, академической этике и честности, а также конфиденциальности данных. Ключевая задача педагогов – найти баланс, при котором технологии дополняют, а не подменяют человеческий интеллект. ИИ-технологии – не враги математического образования, но их бесконтрольное применение угрожает ключевым компетенциям: критическому мышлению, креативности и личностному самосовершенствованию. Для сохранения баланса необходимы:

- Педагогические инновации, сочетающие ИИ с классическими методами.
- Нормативные рамки, регулирующие использование алгоритмов.
- Формирование у учащихся осознанного отношения к технологиям.

Как показывает опыт Сингапура, где ИИ интегрирован в учебные программы без ущерба для глубины обучения, будущее математического образования зависит не от запрета технологий, а от их разумного применения.

## Литература

1. *Opesemowo O.A.G., Ndlovu M.* Artificial intelligence in mathematics education: The good, the bad, and the ugly // *Journal of Pedagogical Research*. 2024. Vol. 8, iss. 3. P. 333–346. DOI: 10.33902/JPR.202426428.

2. *Mohamed M.Z.b., Hidayat R., Suhaizi N.N.b., Sabri N.b.M., Mahmud M.K.H.b., Baharuddin S.N.b.* (2022). Artificial intelligence in mathematics education: A systematic literature review // *International Electronic Journal of Mathematics Education*. 2022. Vol. 17, iss. 3, Art. em0694. DOI: 10.29333/iejme/12132.
3. *Сысоев П.В.* Искусственный интеллект в образовании: осведомлённость, готовность и практика применения преподавателями высшей школы технологий искусственного интеллекта в профессиональной деятельности // *Высшее образование в России*. 2023. Т. 32. № 10. С. 9–33. DOI: 10.31992/0869-3617-2023-32-10-9-33.

***И.А. Анжисин<sup>1,2</sup>, К.И. Будников<sup>1,2,3</sup>***

*<sup>1</sup>Институт автоматики и электрометрии СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия*

*<sup>2</sup>Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

*<sup>3</sup>SPIN-код: 4580-0963*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОВОЗРАСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕЛОВЕКА ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ**

Пол и возраст являются важными характеристиками, определяющими многие аспекты жизни человека и его взаимодействие с обществом. Классификация пола по изображениям лиц - важная задача компьютерного зрения, имеющая множество применений, таких как безопасность, маркетинг и взаимодействие человека и компьютера. Задача состоит в том, чтобы автоматически определить пол человека по изображению. Для достижения наибольшей точности и эффективности в этих областях необходимо применение современных компьютерных технологий.

В настоящее время активно развиваются алгоритмы машинного обучения, которые позволяют с высокой точностью определять половозрастные характеристики на основе изображений. Применение таких алгоритмов особенно полезно в условиях больших потоков данных, например, в системах видеонаблюдения, при оценке покупательского поведения и в медицинских исследованиях, где анализ физиологических параметров на основе изображений может раскрыть ключевые закономерности в развитии возрастных изменений.

Задачу определения половозрастных характеристик человека по изображению можно разбить на два основных этапа: выделение признаков, задача классификации.

Выделение признаков – процесс извлечения ключевой информации из изображения, позволяющий преобразовать началь-

ные данные в вид, удобный для дальнейшего анализа и обработки.

Задача классификации заключается в том, чтобы по полученным на предыдущем этапе признакам научиться определять принадлежность того или иного объекта к заранее определенным классам.

Современные алгоритмы машинного обучения позволяют добиться высокой точности при классификации пола и возраста. В данной работе проводится анализ различных методов извлечения признаков и классификации изображений, а также сравнение их эффективности. Для исследования применялись методы глубокого обучения (CNN, YOLO) [1; 2; 5–10] в сравнении с традиционными алгоритмами компьютерного зрения (SIFT, HOG, LBP) [3–5].

Целью данной работы является изучение методов извлечения признаков и способов их дальнейшей классификации для определения пола и возраста человека по изображению.

Среди модификаций YOLO [7–9] особый интерес представляют специализированные версии для анализа лицевых изображений:

- YOLO-Face [7]: Эта модель основана на YOLOv3 и оптимизирована для детекции лиц. Включает улучшенные архитектурные блоки и функцию потерь, позволяя эффективно обнаруживать лица в различных условиях освещения и ракурсах.

- YOLO5Face [8]: Версия, адаптированная на основе YOLOv5. Использует оптимизированные алгоритмы обработки изображений, что позволяет повышать точность детекции лицевых особенностей, таких как глаза, нос и контуры лица.

- YOLO-FaceV2 [9]: Улучшенная версия YOLO-Face, основанная на YOLOv5, включающая механизмы для учета окклюзии лиц и работы с изображениями низкого качества.

По результатам исследования установлено, что методы глубокого обучения, такие как CNN, демонстрируют высокую точность классификации, до 95 %. YOLO показал перспективные результаты в задачах реального времени с минимальной задержкой.

Традиционные методы (SIFT, HOG, LBP) [3–5] показали себя хорошо на небольших объемах данных, но уступают

нейросетевым моделям по точности и скорости обработки. В частности:

- Метод SIFT [3] обеспечил высокую устойчивость к изменению масштаба и поворота, но оказался вычислительно затратным, что ограничивает его применение в реальном времени.

- HOG [4] показал хорошие результаты в анализе градиентов и выделении контуров, но его точность снизилась при наличии шумов и изменении освещения.

- LBP [5] оказался эффективен в анализе текстурных признаков, но показал слабую производительность при обработке изображений низкого качества.

Исследование продемонстрировало эффективность современных алгоритмов машинного обучения в задаче определения пола и возраста по изображениям. В дальнейшем возможно улучшение точности за счет использования ансамблей моделей, а также дальнейшей оптимизации архитектур CNN и YOLO [1; 2; 5–10].

Дополнительно можно рассмотреть использование генеративных моделей для улучшения качества данных и расширения обучающего набора, что может повысить устойчивость алгоритмов к различным условиям съемки

## Литература

1. *Nagarajan Dr.S., Saravanamani R., Udhayaprakash T., Vijay K.* Facial image-based gender classification system using deep learning model // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2024. Vol. 11, iss. 04. P. 2283–2292. URL: <https://www.irjet.net/archives/V11/i4/IRJET-V11I4374.pdf>.
2. *Vikas Sheoran, Shreyansh Joshi and Tanisha R. Bhayani.* Age and Gender Prediction using Deep CNNs and Transfer Learning // Computer Vision and Image Processing (pp.293-304) March 2021. URL: [https://www.researchgate.net/publication/350445091\\_Age\\_and\\_Gender\\_Prediction\\_Using\\_Deep\\_CNNs\\_and\\_Transfer\\_Learning](https://www.researchgate.net/publication/350445091_Age_and_Gender_Prediction_Using_Deep_CNNs_and_Transfer_Learning).
3. *Cong Geng, Xudong Jiang.* SIFT features for face recognition // 2009 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5234877>
4. *Yalan Li, Ruhua Lu, Rui Huang, Wenfen Zhang.* Research on Face Recognition Algorithm Based on HOG Feature // 2021 Journal of Physics: Conference Series 1757. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1757/1/012099>.

5. *Li Wang, Ali Akbar Siddique*. Facial recognition system using LBP face recognizer for anti-theft and surveillance application based on drone technology // *Measurement and Control* Volume 53, Issue 7-8 2020. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0020294020932344>.
6. *Baback Moghaddam, Ming-Hsuan Yang*. Gender Classification with Support Vector Machines // *Proceedings Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition* (Cat. No. PR00580). URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=433a316d2eeda4685ed5ebf6f3cebd7e7933bb3c>.
7. *Weijun Chen, Hongbo Huang, Shuai Peng, Changsheng Zhou & Cuiping Zhang*. YOLO-face: a real-time face detector // *The Visual Computer*. 2020. Vol. 37. P. 805–813. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00371-020-01831-7>.
8. *Delong Qi, Weijun Tan, Qi Yao, Jingfeng Liu*. YOLO5Face: Why Reinventing a Face Detector // *ECCV Workshops* 27 May 2021. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/YOLO5Face%3A-Why-Reinventing-a-Face-Detector-Qi-Tan/659cf764e27e7cfab82c6f7204d10f5f4e11969a>
9. *Ziping Yu, Hongbo Huang, Weijun Chen, Yongxin Su, Yahui Liu, and Xiuying Wang*. YOLO-FaceV2: A Scale and Occlusion Aware Face Detector // *Pattern Recognition* Volume 155, November 2024, 110714. URL: <https://arxiv.org/abs/2208.02019>.
10. *Mohammed Jawad Al\_Dujaili, Haider TH. Salim ALRikabi, Nisreen Khalil abed, Ibtihal Razaq Niama ALRubeei*. Gender Recognition of Human from Face Images Using Multi-Class Support Vector Machine (SVM) Classifiers. // *International Journal of Interactive Mobile Technologies*. 2023. Vol. 17, No. 08. URL: <https://online-journals.org/index.php/ijim/article/view/39163>.

**Д.А. Борисов<sup>1,2</sup>, К.И. Будников<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

<sup>3</sup>SPIN-код: 4580-0963

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА И ВЫЯВЛЕНИЯ ЕГО АНОМАЛИЙ**

В современных условиях компьютерные сети стали основой для большинства информационных систем, однако рост сетевого трафика и увеличение числа кибератак делают традиционные методы анализа устаревшими. Нейросети предоставляют новые возможности для более точного и быстрого выявления аномалий в сетевом трафике. Они способны учитывать сложные взаимосвязи в данных и эффективно обнаруживать атаки, значительно повышая безопасность сетевых инфраструктур.

Цель работы – исследовать применение нейросетей для анализа сетевого трафика, рассмотреть различные подходы и архитектуры нейросетей, такие как сверточные (CNN), рекуррентные (RNN) и сети с долговременной памятью (LSTM), а также оценить их эффективность в выявлении аномалий.

По результатам исследования современных подходов применения нейросетей для анализа сетевого трафика:

1. Разработана модель нейросети для выявления аномалий.
2. Проведен сравнительный анализ различных архитектур нейросетей (CNN, LSTM, RNN) в задаче обнаружения аномалий.
3. Оценено влияние параметров модели и объема данных на точность и скорость выявления аномалий а также эффективность моделей.

Для обучения моделей использовался набор данных CICIDS2017 [1], который включает сетевой трафик с реальными примерами атак (DDoS, SQL-инъекции, брутфорс и другие).

Набор содержит свыше 80 характеристик сетевого трафика и сбалансирован по типам данных, что позволяет моделям обучаться на нормальном трафике и аномалиях [2].

Перед обучением данные прошли несколько этапов предобработки:

- Очистка от дубликатов.
- Нормализация признаков.
- Разделение на обучающую, тестовую и валидационную выборки.

Для обучения использовались следующие архитектуры нейронных сетей [3]:

- **CNN (Сверточные нейронные сети):** Подходят для выделения локальных паттернов в данных. Архитектура включает несколько сверточных слоев, пулинг и глобальное среднее пулирование. Для классификации используется слой Softmax. Модель показала точность 86 %, но уступала по эффективности в задачах с длительными временными зависимостями [4].

- **LSTM (Долгосрочная память):** Эта модель хорошо справляется с временными зависимостями, что важно для анализа сетевого трафика, где атаки могут разворачиваться во времени. LSTM-сеть показала точность 94%, превосходя CNN в анализе временных последовательностей.

- **RNN (Рекуррентные нейронные сети):** Подходят для анализа зависимостей между элементами последовательности. Однако из-за проблемы исчезающего градиента они менее эффективны в задачах с длинными зависимостями, что снижает их производительность в сравнении с LSTM. Модель RNN показала точность 90 %.

В результате сравнения моделей получено:

- **CNN:** Точность 86 %. Эффективна для анализа локальных паттернов, но ограничена в работе с длительными зависимостями.

- **LSTM:** Точность 94 %. Наилучший результат среди моделей, так как хорошо обрабатывает долгосрочные зависимости в сетевом трафике, что важно для анализа атак, развивающихся во времени.

- **RNN:** Точность 90 %. Хорошо работает с короткими зависимостями, но уступает LSTM в задачах, где требуется учитывать долгосрочные изменения в трафике.

Сравнительный анализ показал, что LSTM наиболее эффективна для обнаружения атак и аномалий, особенно тех, которые проявляются в динамике сетевого трафика.

В заключение можно сделать следующие выводы.

1. Использование нейросетей для анализа сетевого трафика позволяет значительно повысить точность и скорость выявления аномалий и атак.

2. В частности, LSTM-сети, благодаря своей способности учитывать долгосрочные и краткосрочные зависимости в данных, показали наилучшие результаты в анализе сетевого трафика.

3. CNN и RNN также могут быть полезны в зависимости от специфики задачи, но в целом LSTM является предпочтительным выбором для анализа временных данных, характерных для сетевого трафика.

4. Разработанные модели могут значительно повысить уровень автоматизации в области информационной безопасности и обеспечении защиты сетевых инфраструктур.

#### **Литература**

1. Canadian Institute for Cybersecurity. Intrusion detection evaluation dataset (CIC-IDS2017). URL: <https://www.unb.ca/cic/datasets/ids-2017.html>.
2. *Omar Abadi, Ahmed Essam*. Intelligence IDS. URL: <https://www.kaggle.com/code/omarabadi/intelligence-ids>.
3. *Jingan Yang*: The Application of Deep Learning for Network Traffic Classification. URL: [https://www.researchgate.net/publication/369874374\\_The\\_Application\\_of\\_Deep\\_Learning\\_for\\_Network\\_Traffic\\_Classification](https://www.researchgate.net/publication/369874374_The_Application_of_Deep_Learning_for_Network_Traffic_Classification).
4. *Jacek Krupski, Waldemar Graniszewski and Marcin Iwanowski*. Data Transformation Schemes for CNN-Based Network Traffic Analysis. URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/16/2042>.

**С.Е. Жуйко<sup>1,2</sup>, К.И. Будников<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

<sup>3</sup>SPIN-код: 4580-0963

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

В современных условиях развития цифровых технологий и роста объемов данных машинное обучение и нейронные сети становятся неотъемлемой частью экономического анализа. Традиционные методы прогнозирования и оценки экономических показателей могут не справиться с выявлением сложных закономерностей и обработкой больших массивов информации. Поэтому применение нейронных сетей позволяет повысить точность прогнозов, автоматизировать процессы анализа и минимизировать влияние человеческого фактора на принятие решений.

Актуальность исследования обусловлена растущей потребностью в эффективных методах обработки экономических данных. С развитием нейронных сетей было сделано множество шагов в этом направлении, тем не менее, с каждым годом разрабатываются всё более точные и производительные модели. Применение этих технологий в экономике способствует оптимизации бизнес-процессов.

Целью данной работы является исследование существующих методов машинного обучения для определения экономических показателей. В рамках исследования будут рассмотрены различные решения с применением искусственного интеллекта для анализа экономико-финансовой информации, прогнозирования рынка и осуществления безопасности финансовых операций.

Технологии машинного обучения оказываются эффективными в таких задачах, как например, анализ кредитоспособности заемщиков [1], распределение ресурсов в инвестиционном портфеле [2] и оценка финансовой устойчивости [3]. Актуальным вопросом в исследованиях по анализу экономико-финансовой информации является проблема не интерпретируемости результатов нейросетевых моделей, так как часто бывает важно объяснить клиенту или заказчику причину принятия определенного решения.

Обеспечение финансовой безопасности – важная область применения машинного обучения. В данной сфере было проведено множество исследований, которые показывают хорошие результаты. Среди них есть, например, системы распознавания шаблонов транзакций по борьбе с отмыванием денег (AML) на основе графовых нейронных сетей (GNN) [4], а также anti-fraud системы, использующие механизмы внимания и 3D-свёртки, чтобы выявить сложные закономерности в транзакциях [5–6].

Способность нейронных сетей обучаться на выборке данных и впоследствии делать прогнозы с определенной точностью активно применяется в прогнозировании финансовых временных рядов [7]. Различные исследования посвящены прогнозированию спроса [8] или объема торговли [9]. Это важные экономические показатели, влияющие как на ценообразование, так и планирование производства.

## Литература

1. *David West*. Neural network credit scoring models // *Computers & Operations Research*. 2000. Vol. 27, iss. 11–12. P. 1131–1152, DOI: 10.1016/S0305-0548(99)00149-5.
2. *Ali Babapour-Azar, Rashed Khanjani-Shiraz*. A Neural Network Framework for Portfolio Optimization under SecondOrder Stochastic Dominance // *Finance Research Letters*. 2024. Vol. 66. P. 105626. DOI: 10.1016/j.frl.2024.105626.
3. *Болотов П.О., Суглобов А.Е.* О применении нейронных сетей для оценки финансовой устойчивости компаний // *Russian journal of management*. 2020. Т. 8, № 1. С. 106–110. DOI: 10.29039/2409-6024-2020-8-1-106-110.
4. *Haosen Xu, Keke Yu, Ming Wei, Yida Zhu*. Intelligent Anti-Money Laundering Transaction Pattern Recognition System Based on Graph Neural Networks. DOI: 10.13140/RG.2.2.13853.32489.

5. *Yue Tian, Guanjun Liu*. Transaction Fraud Detection via Spatial-Temporal-Aware Graph Transformer. DOI: 10.48550/arXiv.2307.05121.
6. *Dawei Cheng, Sheng Xiang, Chencheng Shang, Yiyi Zhang, Fangzhou Yang, Liqing Zhang*. Spatio-Temporal Attention-Based Neural Network for Credit Card Fraud Detection. DOI: 10.1609/aaai.v34i01.5371.
7. *Котелкин С.В., Куперин Ю.А.* Финансовая динамика и нейросетевой анализ: опыт исследования деловой среды // Вестник СПбГУ. Сер. 8. 2002. Вып. 3 (№ 24). С. 120–143.
8. *Ashvin Kochak, Suman Sharma*. Demand forecasting using neural network for supply chain management // International Journal of Mechanical Engineering and robotics research. 2015. Vol. 4, no. 1. P. 96–104.
9. *Xiaojie Xu, Yun Zhang*. A high-frequency trading volume prediction model using neural networks // Decision Analytics Journal. 2023. Vol. 7. Art. 100235. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100235>.

*А.Ю. Кузнецова<sup>1,2</sup>, К.И. Будников<sup>1,2,3</sup>*

*<sup>1</sup>Институт автоматики и электрометрии СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия*

*<sup>2</sup>Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

*<sup>3</sup>SPIN-код: 4580-0963*

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭТНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕЛОВЕКА**

Современные технологии распознавания лиц и анализа изображений стремительно развиваются, открывая новые горизонты в различных областях, включая безопасность, медицину и социальные науки. Одной из актуальных задач в этой области является определение этнических характеристик человека на основе визуальных данных. Оно может быть полезно в различных областях, включая антропологию, судебную экспертизу, системы идентификации и персонализированные сервисы.

Традиционные методы определения этнической принадлежности, такие как генетические тесты, часто оказываются сложными и затратными. В то же время, анализ внешних признаков, таких как форма лица, цвет кожи и другие морфологические особенности, может предоставить более доступный и быстрый способ оценки этнической идентичности. Использование нейронных сетей для обработки изображений позволяет значительно улучшить точность и скорость таких оценок.

Целью данной работы является обзор существующих алгоритмов сегментации изображений лиц, которые служат основой для дальнейшего анализа этнических характеристик, а также анализ различных архитектур нейронных сетей, их преимуществ и недостатков.

Распознавание этнической принадлежности начинается с обработки изображения, включающей сегментацию лицевых об-

ластей и выделение ключевых точек. Для этого используются такие методы, как:

1. Метод Виолы – Джонса, обеспечивающий быструю локализацию лиц [1, 2].
2. YOLO (You Only Look Once) – современный алгоритм, позволяющий определять лица в реальном времени [3; 4].
3. SIFT, HOG, LBP – методы, применяемые для сегментации изображений и выделения особенностей лицевой структуры [4–8].

После предварительной обработки изображения передаются в нейросетевые модели для анализа. Наиболее популярными архитектурами являются:

1. AlexNet – первая глубокая сверточная нейросеть, продемонстрировавшая высокую точность в классификации изображений [9].
2. VGGNet – улучшенная модель с глубокими сверточными слоями для детального анализа изображений [10].
3. ResNet – сеть с остаточными соединениями, предотвращающими деградацию градиента при увеличении глубины [10].

Анализ этнических характеристик осуществляется путем извлечения признаков, таких как:

- Форма лица
- Контуры глаз, носа и губ
- Цвет и текстура кожи

Использование обученных нейросетей позволяет классифицировать лица по этническим категориям на основе этих признаков. Однако точность моделей может варьироваться в зависимости от качества данных и сбалансированности обучающего набора.

## Литература

1. Viola P., Jones M.J. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. Kauai, Hawaii, USA, 2001. Vol. 1.
2. Буй Тху Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг, Спицын В.Г. Распознавание лиц на основе применения метода Виолы – Джонса, вейвлет преобразования и метода главных компонент. Томск: Томский политехнический университет, 2012. 320 с.

3. *Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A.* You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2016. P. 779–788.
4. *Коломиец В.* Анализ существующих подходов к распознаванию лиц // Хабр. URL: <https://habr.com/ru/company/synesis/blog/238129/>.
5. *Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С.* Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера, 2006. 616 с.
6. *Красильников Н.Н.* Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 608 с.
7. *Лукин Б.* Обучение машины – забавная штука: современное распознавание лиц с глубинным обучением // Хабр. URL: <https://habr.com/ru/articles/306568/>.
8. *David A. Forsyth, Jean P.* Computer vision: a modern approach. Pearson. 2011. 792 p.
9. *Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.* ImageNet classification with deep convolutional neural networks // Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS). 2012. Vol. 25. URL: <https://papers.nips.cc/paper/4824-imagenet-classification-with-deep-convolutional-neural-networks>.
10. *Скрипачев В.О., Гуйда М. В., Гуйда Н. В., Жуков А. О.,* Особенности работы сверточных нейронных сетей // Intl. Journal of Open Information Technologies. 2022. Vol. 10, no. 12. P. 53–60.

**А.С. Легоньков<sup>1,2</sup>, К.И. Будников<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

<sup>3</sup>SPIN-код: 4580-0963

## **РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ ИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ДОКУМЕНТОВ**

Электронные медицинские документы (ЭМД) играют важную роль в современном медицинском обслуживании. В них содержится важная информация о пациентах, их заболеваниях и проведенном лечении, которую можно извлечь и проанализировать. Однако ручная обработка таких документов может быть трудоёмкой и подверженной ошибкам. В данной работе предложено использовать нейросетевые технологии для автоматизированного извлечения и анализа данных из ЭМД.

Цель исследования – разработка модуля для автоматизированного извлечения и анализа информации из ЭМД. Работа включает создание мультимодальной модели, которая объединяет текстовые и визуальные признаки, повышая точность обработки данных.

В качестве базовой модели для обработки данных использовалась архитектура LayoutLM [1–3], основанная на технологии трансформеров. Модель объединяет текстовые признаки (OCR-данные) с визуальными (координаты текста на странице и визуальные признаки шрифта). В качестве признаков модели, применялись текстовые эмбединги (BERT), 2D-позиционные эмбединги (расположение текста) и визуальные признаки (особенности шрифта и макета).

Модель LayoutLM была дообучена в несколько этапов:

1. *Дообучение на задаче извлечения ответов на вопросы*

Дообучение проводилось с использованием датасета DocVQA, который включает более 50 000 вопросов к реальным

документам. Это позволило модели эффективно обрабатывать документы с богатым визуальным содержанием.

## 2. Дообучение на датасете электронных медицинских документов на русском языке

Обучившись под задачу извлечения ответов на вопросы, модель умеет искать нужную информацию для определенного запроса. Но это умение распространяется на всю область электронных документов, показывая плохие результаты на выборке ЭМД на русском языке. Поэтому надо уточнить контекст модели, дообучившись на нужном датасете.

Отсутствие полноценных датасетов электронных медицинских документов на русском языке затрудняет обучение моделей. Для решения этой проблемы применялись методы аугментации, включая повороты и отражения, добавление шума, изменение яркости и контрастности, изменение шрифтов и стилей текста, обрезаку краёв и маскирование частей текста. Применение этих методов позволило увеличить объём данных и улучшить устойчивость модели к различным искажениям.

В качестве метрик для оценки моделей использовались Precision, Recall и F1, которые позволяют оценить точность предсказаний и полноту извлечённой информации.

Метрики рассчитывались по следующим формулам:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP},$$
$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN},$$
$$F1 = \frac{2 \cdot (\text{Precision} \cdot \text{Recall})}{\text{Precision} + \text{Recall}},$$

где  $TP$  – количество истинно положительных срабатываний,  $FP$  – количество ложных срабатываний,  $FN$  – количество пропущенных положительных ответов.

В результате разработанная модель показала высокую точность при анализе сложных медицинских документов. Итоговые значения метрик:

- Precision: 0.9542,
- Recall: 0.9524,
- F1: 0.9524.

Таким образом, предложенное решение позволяет автоматизировать процесс анализа медицинских документов, повышая точность и скорость обработки данных. Перспективы дальнейших исследований включают использование Retrieval-Augmented Generation (RAG) для улучшения генерации ответов на сложные вопросы на основе информации из ЭМД.

### **Литература**

1. *Minesh Mathew, Dimosthenis Karatzas, C.V. Jawahar*. DocVQA: A Dataset for VQA on Document Images. URL: <https://arxiv.org/abs/2007.00398>.
2. *Yiheng Xu, Tengchao Lv, Lei Cui, Guoxin Wang, Yijuan Lu, Dinei Florencio, Cha Zhang, Furu Wei*. LayoutLM: Pre-training of Text and Layout for Document Image Understanding. URL: <https://arxiv.org/abs/2104.08836>.
3. *Chuwei Luo, Yufan Shen, Zhaoqing Zhu, Qi Zheng, Zhi Yu, Cong Yao*. LayoutLLM: Layout Instruction Tuning with Large Language Models for Document Understanding. URL: <https://arxiv.org/pdf/2404.05225>.

**М.П. Помогаев<sup>1,2</sup>, К.И. Будников<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

<sup>3</sup>SPIN-код: 4580-0963

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ**

Современные методы диагностики заболеваний органов грудной клетки все чаще основываются на использовании технологий машинного обучения. Применение сверточных нейронных сетей (CNN), предназначенных для обработки изображений, позволяет значительно повысить точность классификации медицинских снимков, что делает их ценным инструментом в практике здравоохранения. Среди исследований в данной области можно отметить ряд подходов, показавших высокие результаты:

1. **CheXNet** [1]: DenseNet-121, разработанная Стэнфордским университетом, используется для диагностики 14 заболеваний грудной клетки. Модель достигает точности, сопоставимой с профессиональными радиологами.

2. **TB-Net** [2]: Модель для диагностики туберкулеза с применением механизма внимания, что обеспечивает интерпретируемость результатов.

3. **COVID-ResNet** [3]: Модификация ResNet-50 для классификации рентгеновских снимков на категории «норма», «COVID-19», «вирусная» и «бактериальная пневмония».

Среди различных методов машинного обучения сверточные нейронные сети зарекомендовали себя как наиболее перспективные для обработки медицинских снимков благодаря их способности эффективно извлекать и анализировать особенности изображений. Среди архитектур CNN особый интерес представ-

ляет EfficientNet [4; 5], которая обеспечивает баланс между точностью, вычислительными затратами и адаптивностью. Метод Compound Scaling, лежащий в основе EfficientNet, позволяет масштабировать сеть по глубине, ширине и разрешению, из-за чего её можно обучать на большем числе эпох с большими по объёму данным, что делает её подходящей для медицинских задач, требующих высокой производительности, для получения хороших результатов.

В связи с вышеизложенным, целью работы является разработка и обучение модели машинного обучения для классификации рентгеновских снимков грудной клетки основе архитектуры EfficientNet. В процессе достижения цели решались следующие задачи:

1. Адаптация архитектуры EfficientNet-B0 для работы с одноканальными изображениями.

2. Обучение модели и оценка её точности на тестовом наборе данных.

При этом использовалась следующая методология:

1. Подготовленный датасет разбит на 5 классов: «Бактериальная пневмония», «Вирусная пневмония», «Коронавирус», «Туберкулез» и «Норма»[6].

2. Для работы с черно-белыми рентгеновскими снимками изменен первый слой модели EfficientNet-B0.

3. Изображения преобразованы в оттенки серого, нормализованы и масштабированы до разрешения 224x224.

В процессе обучения модель EfficientNet-B0 продемонстрировала точность 87,65 % на тестовых данных. Несмотря на использование минимальной конфигурации сети и ограниченного числа эпох (10).

Результаты подтверждают актуальность использования сверточных нейронных сетей в задачах диагностики заболеваний грудной клетки. Предложенный подход обладает высоким потенциалом для дальнейшего совершенствования. Рекомендуется использовать более крупные версии моделей EfficientNet и увеличивать объем данных для обучения, чтобы повысить точность и расширить область применения.

## Литература

1. *Pranav Rajpurkar, Jeremy Irvin, Kaylie Zhu, Brandon Yang, Hershel Mehta, Tony Duan, Daisy Ding, Aarti Bagul, Robyn L. Ball, Curtis Langlotz, Katie Shpanskaya, Matthew P. Lungren, Andrew Y. Ng.* CheXNet: Radiologist-Level Pneumonia Detection on Chest X-Rays with Deep Learning. URL: <https://arxiv.org/pdf/1711.05225>.
2. *Alexander Wong, James Ren Hou Lee, Hadi Rahmat-Khah, Ali Sabri, Amer Alaref.* TB-Net: A Tailored, Self-Attention Deep Convolutional Neural Network Design for Detection of Tuberculosis Cases from Chest X-ray Images URL: <https://arxiv.org/pdf/2104.03165>.
3. *Muhammad Farooq, Abdul Hafeez.* COVID-ResNet: A Deep Learning Framework for Screening of COVID19 from Radiographs. URL: <https://arxiv.org/pdf/2003.14395v1>.
4. ImageNet benchmark (Image Classification). URL: <https://paperswith-code.com/sota/image-classification-on-imagenet>.
5. *Mingxing Tan Quoc V. Le.* EfficientNet: Rethinking Model Scaling For Convolutional Neural Networks. URL: <https://arxiv.org/pdf/1905.11946>.
6. Omkar Manohar Dalvi. Dataset. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/omkarmanohardalvi/lungs-disease-dataset-4-types/data>.

**П.П. Помогаев<sup>1,2</sup>, К.И. Будников<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

<sup>3</sup>SPIN-код: 4580-0963

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА РАСТЕНИЙ, ПОРАЖЕННЫХ ВИРУСОМ ЗЕЛЕННОЙ ПЯТНИСТОЙ МОЗАИКИ**

Анализ состояния растений в сельском хозяйстве играет важную роль в повышении урожайности и снижении потерь от заболеваний. В частности, вирус зеленой пятнистой мозаики огурца наносит значительный урон сельскохозяйственным культурам, что может привести к существенному снижению объемов урожая и экономическим потерям. Разработка эффективных методов детекции заболевания позволит не только своевременно реагировать на вспышки инфекции, но и минимизировать применение химических средств защиты, что особенно важно в органическом земледелии.

Одним из современных методов диагностики является использование нейросетевых моделей для анализа изображений пораженных и здоровых листьев. Эти модели способны автоматически извлекать признаки, характерные для заболеваний, что существенно повышает точность диагностики по сравнению с традиционными методами визуального осмотра. В данной работе исследуется эффективность различных архитектур нейронных сетей для классификации изображений растений, пораженных вирусом зеленой пятнистой мозаики.

Для исследования были выбраны следующие семейства моделей: AlexNet, ResNet, Inception и EfficientNet. Модели этих семейств чаще всего используются в исследованиях, связанных с компьютерным зрением, и показывают высокие результаты распознавания изображений в исследованиях схожей тематики [1–3].

Обучающие данные содержат 1080 изображений, разделенных на обучающие и тестовые в соотношении 80 % / 20 %. Для увеличения качества обобщения модели использовалась аугментация изображений, включающая такие преобразования, как повороты, изменение яркости и контраста, а также добавление случайного шума.

Качество распознавания определялось подсчетом следующих метрик: точность, сбалансированная точность, F1-мера. Лучшие результаты показала модель InceptionV3, достигнув сбалансированной точности 96.9 %, в то время как EfficientNet-B0 оказалась наиболее быстрой в обучении. Высокая точность InceptionV3 объясняется ее архитектурой, включающей механизмы оптимизации вычислений и комбинирование фильтров разного размера в одной сети.

Проведенное исследование подтверждает перспективность применения глубоких нейросетей для детекции заболеваний растений. В дальнейшем планируется оптимизация модели, расширение датасета и тестирование методов регуляризации для повышения точности классификации. Одним из возможных направлений является применение генеративных моделей для синтеза дополнительных обучающих данных, что позволит компенсировать нехватку реальных изображений зараженных растений.

Дополнительно можно исследовать другие архитектуры нейросетей, такие как Vision Transformers (ViT), которые показывают высокие результаты в задачах компьютерного зрения. Эти модели используют механизм самовнимания (self-attention), что позволяет им более эффективно анализировать сложные структуры изображений. Также возможно улучшение модели за счет использования ансамблевых методов, объединяющих несколько нейросетей. Например, комбинация сверточных сетей и трансформеров может привести к значительному увеличению точности классификации.

## Литература

1. *Saman M., Lucy T.T, Zakia G., Shavar A.* An Intelligent System for Cucumber Leaf Disease Diagnosis Based on the Tuned Convolutional Neural Network Algorithm. URL: <https://www.researchgate.net/publica>

tion/366522260\_An\_Intelligent\_System\_for\_Cucumber\_Leaf\_Disease\_Diagnosis\_Based\_on\_the\_Tuned\_Convolutional\_Neural\_Network\_Algorithm

2. *Mohanty S.P., Hughes D.P., Salathé M.* Using deep learning for image-based plant disease detection // *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. Art. 1419. DOI: 10.3389/fpls.2016.01419.
3. *Too E.C., Yujian, L., Njuki, S., Yingchun L.* A comparative study of fine-tuning deep learning models for plant disease identification // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol. 161, P. 272–279.

**А.С. Потапова<sup>1,2</sup>, К.И. Будников<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

<sup>3</sup>SPIN-код: 4580-0963

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ МОТОРНОГО КОНТРОЛЯ МИГРАНТОВ В СЕВЕРНЫЙ РЕГИОН**

В настоящее время увеличивается интерес к применению машинного обучения в медицине вообще и в нейрофизиологии в частности [1; 2]. Растет общее количество исследований в данной области [3; 4]. Новое, более совершенное оборудование позволяет получать более точные данные различных видов для таких медицинских методов сбора информации, как МРТ, ЭЭГ, МЭГ и другие и собрать за несколько дней больше данных, чем было бы собрано за целый год всего десять лет назад. Электроэнцефалография (ЭЭГ) является одним наиболее часто используемых методов нейрофизиологического исследования. Эксперименты, проводимые с ее использованием, позволяют выявить мельчайшие признаки патологических изменений, определить характер заболевания и причины его развития.

Одной из актуальных проблем современной науки о данных в области нейрофизиологии является определение диагностических критериев разного рода психических расстройств. Эта задача осложняется наличием множества биофизических параметров, часть из которых может быть избыточными. Разрешить эту проблему помогают методы машинного обучения.

В данной работе рассматривается проблема адаптации приезжих из регионов с теплым климатом в район крайнего Севера. Переезд на новое место, особенно при наличии сильных контрастов, часто вызывает у людей стрессовое состояние. Мозг подсо-

знательно воспринимает все вокруг как потенциально опасное. Однако спустя некоторое время положение должно нормализоваться. Новая обстановка должна перестать вызывать у человека стресс. Со временем организм должен привыкнуть к изменениям и перейти из состояния тревожного в обычное повседневное. Зафиксировать изменения можно разными способами. Один из них – наблюдение моторных рефлексов.

Целью настоящей работы является исследование изменения состояния мигрантов, приехавших в северный регион на основе динамики их системы моторного контроля.

Предполагается, что по результатам ЭЭГ мигрантов в разные временные периоды возможно увидеть динамику изменения их моторных рефлексов. В частности, интересна скорость адаптации людей, ведь одной из причин депрессии является длительный стресс.

Для проведения исследования использовалась Стоп-сигнал парадигма – экспериментальный метод, разработанный для оценки способности пациента активировать целенаправленные движения или подавлять движения, ставшие неадекватными внешним условиям [2]. Чаще всего в современной медицине ССП применяется для диагностики двигательных нарушений, таких как болезнь Паркинсона, детская гиперактивность, посттравматические расстройства или последствия инсульта. Для исследования был собран пакет обезличенных фрагментов записей ЭЭГ. Данные представлены в двух временных промежутках: через месяц после приезда на Север и через полгода. Испытуемыми являлись люди из стран юга Евразии. Они прошли моторные тесты, во время которых у них снималась ЭЭГ. Эти данные были обработаны, преобразованы и приведены к виду, который можно использовать в различных методах машинного обучения.

В рамках настоящего исследования прежде всего интересовало наличие отдельных групп в испытуемом социуме с разным уровнем прохождения тестов, поэтому применены различные методы кластеризации. В данном случае были использованы такие методы, как k-средних, метод локтя (на основе метода k-средних), метод силуэта (на основе метода k-средних) и DBSCAN.

В итоге проведенного исследования получены следующие результаты:

1. Определены показательные электроды, указывающих на место возникновения отличительной электрической активности.

2. Отмечено общее снижение максимума регистрируемого электрического сигнала, свидетельствующее о постепенной адаптации испытуемых ко внешним условиям.

3. Установлены 2 хорошо разделяемых кластера испытуемых с различными уровнями максимального электрического сигнала ЭЭГ.

### **Литература**

1. *Брюхов Д. О. и др.* Нейрофизиология как предметная область для решения задач с интенсивным использованием данных // Информатика и её применения. 2020. Т. 14, № 1. С. 40–47.
2. *Зеленских М. О. и др.* Разработка нейронной сети для диагностики риска возникновения депрессии по экспериментальным данным стоп-сигнал парадигмы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. Т. 26, № 8. С. 773–779.
3. *Vyatleva O.A.* Neurobiological characteristics of boys and girls (scientific review) // Issues of school and university medicine and health. 2016. № 2. P. 12–17.
4. *Kuznetsova E.I.* Neurobiological indicators of neurotoxicity in children with lymphoid tumors // Oncopediatrics. 2015. Т. 2, № 3. P. 290–291.

***Е.В. Кузнецов***

*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

## **РАЗРАБОТКА ОБЛАЧНОГО ПОРТАЛА ДЛЯ КОМПЛЕКСА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПРОЦЕСС-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

roST и Reflex – процесс-ориентированные языки программирования, разрабатываемые в Институте автоматизации и электрометрии СО РАН (ИАиЭ СО РАН). Они были созданы для удобства программирования ПЛК и микроконтроллеров с учетом текущего тренда в области «Индустрии 4.0» [1]. Решения, создаваемые ранее, не получили столь широкого распространения, однако был учтен накопленный опыт, что позволило создать простые и понятные средства как для специалистов работающих в отрасли, так и тех кто планирует в будущем заниматься внедрением киберфизических систем в производственные процессы.

Из реализованных на текущий момент инструментов для roST и Reflex существует облачное Web IDE RIDE на базе Eclipse Theia в котором осуществляется подсветка синтаксиса языков, подсветка ошибок [2; 3]. Командная разработка в RIDE возможна благодаря реализованному плагину [4]. Для Reflex имеются трансляторы в C, Python и Formula Node от LabVIEW. Существуют онлайн-компиляторы для roST и Reflex. В Институте продолжают вестись исследования данных языков (верификация и отладка, статический анализ, применение в разработке распределенных микроконтроллерных систем и др.) и создаются новые инструменты разработки.

Такие проблемы как распространение облачного Web IDE RIDE, большое количество информации в виде различных инструкций, научных публикаций, выпускных квалификационных работ и диссертаций усложняют понимание о существующих

наработках как внутри команды исследователей, так и конечных пользователей. Чтобы это решить необходим информационный портал, на котором будут представлены все инструменты процесс-ориентированного программирования и информация по ним. Портал должен предоставлять доступ к облачным пространствам IDE RIDE.

Цель текущей работы – разработать облачный портал для комплекса инструментальных средств процесс-ориентированного программирования.

Задачи, которые необходимо решить:

1) проанализировать существующие подходы к разработке облачных порталов и специфику комплекса инструментальных средств процесс-ориентированного программирования;

2) сформировать список требований к разрабатываемому portalу;

3) спроектировать интерфейс облачного портала;

4) реализовать портал;

5) разместить портал в сети Интернет.

В результате работы спроектирован интерфейс и структура портала, реализована основная часть страниц портала. Создание портала поможет улучшить взаимодействие между различными участниками группы разработчиков и исследователей языков Reflex и poST, упростит доступ к информации и услугам сервиса для конечного пользователя, а также обеспечит безопасный доступ к облачным пространствам. Контактная информация в виде почты, формы обратной связи и ссылок на медиаресурсы помогут взаимодействовать с аудиторией, своевременно узнавать о их проблемах и понимать, что стоит улучшить и как стоит развивать существующие решения. Знакомство с процесс-ориентированными языками упростится за счет размещаемых на портале обучающих инструкций и видео демонстраций.

## **Литература**

1. *Zyubin V.E. et al.* Towards topology-free programming for cyber-physical systems with process-oriented paradigm // *Sensors*. 2023. Т. 23, № 13. С. 6216.
2. *Bashev V., Rozov A., Zyubin V.* PoST2ST: a Web Service for Translating poST Programs to the IEC 61131-3 Structured Text // 2021 IEEE 22nd

- International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM). IEEE, 2021. P. 520–523.
3. *Gornev I., Liakh T.* Ride: Theia-based web ide for the Reflex language // 2021 IEEE 22nd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM). IEEE, 2021. P. 503–506.
  4. *Kuznetsov Y., Zyubin V.* Development of Project Management Module for Reflex Cloud IDE // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). IEEE, 2024. P. 957–961.

**В.А. Филимонов**

*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Омский филиал,  
г. Омск, Россия  
SPIN-код: 2750-2279*

## **КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ГИБРИДНОГО СУБЪЕКТА\***

Формирование четвёртой парадигмы науки [1] зависит не только от больших данных и искусственного интеллекта (ИИ): не менее важен субъект, который эти данные использует. В указанной публикации требование к такому субъекту обозначено как «человеко-соразмерность». Представляется, однако, что этот субъект будет гибридным, и включать как коллектив людей, так и системы ИИ. Пример такого субъекта приведён в [2]. При этом такой субъект должен демонстрировать понимание, аналогично пониманию человека [3, с. 399–412]. Способность понимать зависит не только от сложности предмета понимания [4], но и от рефлексивной способности работать со сложностью [5]. Например, при толковании священных текстов требуется найти такую интерпретацию определённого фрагмента, которая удовлетворяет каноническим формально противоречивым утверждениям [6, с. 4–9].

Понимание существенно связано со способностью задавать вопросы, которые выстраиваются в определённую систему и формируют траекторию понимания. Одним из примеров такой системы является известный «сократический диалог». Эксперименты автора с нейросетями *aiigitalpro* и *chadgpt* (Сбербанк) показали, что они способны задавать вопросы, адекватные предлагаемым ответам, однако иногда степень адекватности оказывается невысокой [7–9]. Частично это объясняется тем, что большинство нейросетей обучались исключительно на англоязычных

---

\* Работа выполнена в рамках государственного задания ИМ СО РАН, проект FWNF-2022-0016.

ресурсах, а нейросети, позиционированные как отечественные, осуществляют только перевод на русский язык.

Большинство существующих нейросетей способно вести текстовый диалог и/или создавать графические изображения по заданным описаниям (причём в основном монстров, гламурных персонажей и анимэ). Гибридный субъект будет обладать расширенной сенсорикой, в которую, помимо органов чувств живых организмов, могут входить, в частности, средства обнаружения радиоактивности, а также инфра- и ультра феноменов, которые реализуются роботами. Сенсорная подстанция [10] в этом случае может быть использована для создания когнитивных образов, содействующих пониманию, аналогичных когнитивной графике [11]: когнитивной музыке, ароматерапии и т. п.

## Литература

1. *Смирнов С. А.* К вопросу о четвертой парадигме в науке // *Философия науки.* 2022. № 4 (95). С. 3–20.
2. *Burmistrova N, Filimonov V.* Experimental game “Rock-Paper-Scissors” for teams of people and artificial intelligence systems // *Ural-Siberian Conference on Computational Technologies in Cognitive Science, Genomics and Biomedicine (CSGB), Novosibirsk, Yekaterinburg, July 04–08, 2022.* Novosibirsk, Yekaterinburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2022. P. 40–43. DOI: 10.1109/CSGB56354.2022.9865445.
3. *Перл Дж., Маккензи Д.* *Думай «почему?».* Причина и следствие как ключ к мышлению. М.: АСТ, 2023. 464 с.
4. *Ерёмченко Е.Н.* Цифровая Земля и ОГАС: работа над ошибками // *Геоконтекст.* 2024. Т. 12, № 1. С. 5–21.
5. *Филимонов В.А.* Пятна на ясном Солнце или проблемы Цифровой Земли у коллективных субъектов // *GraphiCon 2024: материалы 34-й Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению,* Омск, 17–19 сентября 2024 года. Омск: Омский гос. технический ун-т, 2024. С. 697–700. DOI: 10.25206/978-5-8149-3873-2-2024-697-700.
6. *Штейнзальц А.* *Введение в Талмуд.* Израильский институт талмудических публикаций. Институт изучения иудаизма в России. М.: Российский научный центр «Курчатовский институт», 1993. 382 с.
7. *Филимонов В.А.* Парадокс субъектности нейросетей // *Робототехника и искусственный интеллект: материалы XV Всеросс. научно-техн. конф. с междуна. участием.* Красноярск: ЛИТЕРА-принт, 2023. С. 247–250.

8. *Филимонов В.А.* Когнитивная визуализация для эксперимента с использованием психолингвистики и нейросети // Психология и информационные технологии: перспективы взаимодействия: материалы Всеросс. национальной научно-практ. конф. (г. Владивосток, 27 сентября 2024 г.). Владивосток: Изд-во ВВГУ, 2024. С. 52–55.
9. *Филимонов В.А.* Компетентность нейросетей требует проверки // Робототехника и искусственный интеллект: материалы XVI Всеросс. научно-техн. конф. с междуна. участием. Красноярск: ЛИТЕРА-принт, 2024. С. 319–322.
10. *Филимонов В.А.* Сенсорная Подстановка: Формализация, Интерпретация, Субъект // Знания – Онтологии – Теории (ЗОНТ-2017): материалы Всеросс. конф. с междуна. участием, Новосибирск, 02–06 октября 2017 года. Новосибирск: ООО «Дигит Про», 2017. Т. 2. С. 134–137.
11. *Филимонов В.А.* Способ когнитивной визуализации многопараметрических компонентов системы // Робототехника и искусственный интеллект: материалы XIII Всеросс. научно-техн. конф. с междуна. участием. Красноярск: ЛИТЕРА-принт, 2021. С. 109–113.

**Секция  
«Информационная безопасность»**

---

УДК 004

***М.Р. Алискеров<sup>1</sup>, С.В. Попов***

*Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 5468-4006

**КОМПЕТЕНТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ  
ИБ-СПЕЦИАЛИСТА**

Сфера информационной безопасности в настоящее время претерпевает острый дефицит специалистов, обусловленный способностью удовлетворения растущего спроса на квалифицированные, готовые непосредственно к практической работе, кадры. Информатизация буквально пронизывает сегодня практически все сферы общественной и личной жизни человека. Наиболее значительное увеличение внимания к вопросам, связанным с информатизацией, продиктовано значительной трансформацией социальных процессов [1].

В сентябре 2000 года Указом Президента РФ была утверждена Доктрина информационной безопасности Российской Федерации, ставшая основополагающим нормативным-правовым актом, в ряде с другими, послужившая толчком для реализации комплекса мероприятий по разработке системообразующих ориентиров в части обеспечения национальной безопасности РФ в информационной сфере. Под информационной сферой в Доктрине понимается совокупность информации, объектов информатизации, информационных систем, сайтов в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», сетей связи, информационных технологий, субъектов, деятельность которых связана с

формированием и обработкой информации, развитием и использованием названных технологий, организацией информационной безопасности, а также совокупность механизмов регулирования соответствующих общественных отношений, в том числе касающихся подготовки высококвалифицированных специалистов в области обеспечения информационной безопасности и требований к ВУзам, реализующим такую подготовку.

Подготовка ИБ-специалистов в России имеет 60-летнюю историю. Так, первые криптографы обучались на базе закрытого отделения механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Системной такая подготовка стала считаться с 1992 года, благодаря развитию новых информационных и телекоммуникационных технологий, когда государственным комитетом по высшему образованию была сформирована межвузовская научно-техническая программа «Методы и технические средства обеспечения безопасности информации» [2].

Компетентность ИБ-специалиста определяется наличием знаний, опыта и навыков реализации задач в предметной области. Подготовка квалифицированных кадров определяется эффективной моделью компетентности, которая в свою очередь ориентирована на соответствие существующим стандартам и по необходимости подлежит постоянной доработке с учетом сформировавшегося опыта.

Совсем недавно научно-исследовательская и кадрово-подготовительная работа в области информационной безопасности проводилась только в определенных «закрытых» ВУЗах, ориентированных на нужды военных. Стремительное развитие цифровых технологий послужило резким толчком к росту киберпреступлений, что и создало острую необходимость в оперативной организации масштабной системы подготовки кадров на базе ряда гражданских учебных заведений. Современные реалии констатируют тот факт, что проблема организации информационной безопасности уже не является исключительно сферой компетенции специальных государственных служб.

В сложившейся ситуации, изучение существующих проблем в области информационной безопасности привели работодателей и преподавателей к тому, что необходимо пересмотреть использование существующих моделей компетенций в качестве

инструментов для определения и оценки квалификации и навыков работников [3].

На сегодняшний день Министерством науки и высшего образования Российской Федерации совместно с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти создана основа государственной системы подготовки специалистов на базе высших образовательных учреждений прежде всего технического профиля, способных решать задачи национального обеспечения информационной безопасности. При этом, ввиду стремительно развивающихся киберугроз на отечественном направлении, требуется активная актуализация модели-компетенции ИБ-специалиста, способного противодействовать существующим и прогнозируемым эксперт-аналитиками моделям-угроз. Так, разработанные модели-компетенций, для эффективности, должны оперативно пересматриваться и обновляться. При этом при подготовке ИБ-специалиста необходимо у него сформировать понимание принципов программирования, для разработки современных инструментов, основанных на применении методов искусственного интеллекта, а также работы операционных систем, разбираться в их системном и сетевом администрировании, уметь работать с сетевыми сканерами уязвимостей, и знать по каким принципам складываются киберугрозы, какие есть способы защиты от них, а также выработка аналитических способностей, которые дадут возможность специалисту видеть последствия тех или иных решений и находить причинно-следственные связи в уже свершившихся кибератаках.

Вместе с тем, немаловажным остается компетенции в области владения хакерским ПО, и умения взламывать сети и системы, при этом необходимо формирование знаний нормативной правовой базы, в части защиты информации – законов и иных регламентирующих актов, регулирующих отношения связанные с защитой информации ограниченного доступа, руководящих документов, а также мер гражданско-уголовной ответственности за киберпреступность. Так, Н.И. Рыжова и Д.А. Соколов в своей работе отмечают, что на сегодня в рамках подготовки современного специалиста фактически любого профиля отчетливо просматривается необходимость формирования правовой компетентности, причем в тесной взаимосвязи с информационной, и поэтому,

наиболее актуально говорить о формировании информационно-правовой компетентности специалиста. При рассмотрении образовательных стандартов, предназначенных для профессиональной подготовки современных специалистов, изучив стандарты ФГОС ВО, авторы отмечают, что если для специалистов юридического профиля понимание правовой деятельности и компетентности существует (см. ФГОС ВО третьего поколения по направлению «Юриспруденция»), то в стандартах для специалистов любого другого профиля, в том числе и гуманитарного, эти понятия не фигурируют и не описываются никаким образом [4].

В заключение необходимо отметить, что данная тематика требует дальнейшего исследования для своевременной разработки мер по эффективной подготовке высококвалифицированных кадров, остро необходимых сегодня на рынке труда.

### **Литература**

1. *Гитинов Х.Х., Курбанов Т.К., Алискеров М.Р., Качаева Г.И.* Актуальные проблемы обеспечения защиты конфиденциальной информации в условиях электронного документооборота в работе государственных и муниципальных органов // Научно-правовой журнал «Образование и Право». М.: Юрккомпани, 2021. 131 с.
2. Анализ подготовки специалистов по информационной безопасности в Российской Федерации. URL: <https://studbooks.net/37040/politologiya/> (дата обращения: 12.05.2022).
3. *Бирюков А.А.* Информационная безопасность: защита и нападение. М.: ДМК Пресс, 2013. 474 с.
4. *Рыжова Н.И., Соколов Д.А.* Информационно-правовая компетентность как основа для развития правовой культуры современного специалиста в условиях глобальной информатизации // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 2.

***А.А. Гавришев***

*Московский государственный лингвистический университет,*

*г. Москва, Россия*

SPIN-код: 8253-9461

## **ПРИМЕНЕНИЕ SDR-ПРИЕМНИКОВ В УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНАМ, СВЯЗАННЫМ С ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАЩИТОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Согласно ФГОС, при реализации образовательных программ по информационной безопасности (ИБ) студенты среди прочих дисциплин так же изучают и дисциплины, связанные с технической защитой информации (ТЗИ). Известно [1–3], что создание лабораторной базы для обучения студентов методам и средствам ТЗИ, поиску побочных электромагнитных излучений и наводок и пр., связано с приобретением профессионального оборудования, что может потребовать больших материальных затрат. В некоторых работах, например [1], в качестве альтернативы ряду профессионального оборудования при осуществлении учебной деятельности по дисциплинам, связанным с ТЗИ, предлагается использовать недорогие SDR-приёмники и применяемое с ними свободно распространяемое программное обеспечение (СРПО).

Целью данной статьи является обзор направлений использования SDR-приемников и применяемого с ними СРПО в учебной деятельности по дисциплинам, связанным с ТЗИ.

Анализ ФГОС по образовательным программам в области ИБ и учебной литературы, например, [4; 5], показывает, что с использованием стандартных SDR-приемников и применяемого с ними СРПО, возможно организовать лабораторные и практические работы, связанные, в частности, с: 1) радиоэлектронными каналами утечки информации; 2) обнаружением закладных устройств, использующих в своем составе системы радиосвязи; 3) техническими средствами анализа радиосигналов.

Приведем конкретные примеры использования стандартных SDR-приемников в учебной деятельности по дисциплинам, связанным с ТЗИ.

Так в работе [3] проведено исследование особенностей использования в учебном процессе на дисциплинах, связанных с ТЗИ, СРПО. В качестве направления ТЗИ рассмотрено направление перехвата естественных излучений от монитора, реализуемое с помощью технологии Soft Tempest в видеоинтерфейсах. В работе [6] предложены следующие темы и описание лабораторно-практических работ (ЛПР) на основе использования SDR-приемников: 1) исследование принципов работы устройств на базе технологии SDR и их практического применения; 2) исследование диапазона GSM-900; 3) исследование и технический анализ радиосигналов стандарта GSM. В работе [7] предложены следующие темы и описание ЛПР на основе использования SDR-приемников: 1) определение местоположения базовых станций диапазона GSM 900; 2) радиомониторинг движения воздушных объектов. Технология ADS-B; 3) изучение комплекта учебного оборудования «Системы спутниковой навигации GPS-NOTE». В работе [8] предложено СРПО Universal Radio Hacker, предназначенное для анализа протоколов систем радиосвязи и передаваемых радиосигналов. Главной особенностью программы, в отличие от аналогов, например, SDRSharp, является потенциальная возможность частично восстановить информацию, передаваемую в радиоканале. В работе [9], на примере одного из самых популярных СРПО для SDR-приемников, SDRSharp, показано как возможно проводить спектральный анализ передаваемых в канале связи радиосигналов. В работе [10] представлены исследования возможности использования технологии SDR для определения местоположения в режиме реального времени с использованием СРПО.

Таким образом, в данной статье проведен обзор направлений использования стандартных SDR-приемников и используемого с ними СРПО в учебной деятельности по дисциплинам, связанным с ТЗИ. Приведены примеры их использования, которые могут найти применение при подготовке ЛПР.

## Литература

1. *Ошлаков В.С., Суранов А.Я.* Возможности использования SDR-приемников для моделирования приема радиосигналов // Сборник статей МК «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования». Барнаул: АлтГУ, 2015. С. 425–427.
2. *Крыжановский А.В., Кухарев С.Н., Афанасьев В.Н.* Применение бюджетных решений при обучении технической защите информации // Труды МНПК «Актуальные проблемы обеспечения информационной безопасности». Самара: Инсома-Пресс, 2017. С. 111–118.
3. *Горшков А.К., Гавришев А.А.* Использование свободно распространяемого программного обеспечения на дисциплинах, связанных с ТЗИ // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. 2023. № 2. С. 72–75.
4. *Торокин А.А.* Инженерно-техническая защита информации. М.: Гелиос АРВ, 2005. 960 с.
5. *Зайцев А.П., Шелупанов А.А., Мецзяков Р.В.* Технические средства и методы защиты информации. М.: Горячая линия-Телеком, 2012. 616 с.
6. *Федоров С.М., Бойко О. В., Пастернак Ю.Г. и др.* Системы подвижной радиосвязи: лабораторный практикум. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2019. 146 с.
7. *Федоров С.М., Сиваш М.А., Володько А.В. и др.* Радионавигационные системы и комплексы: лабораторный практикум. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2019. 88 с.
8. *Johannes Pohl, Andreas Noack* Universal Radio Hacker: A Suite for Analyzing and Attacking Stateful Wireless Protocols // Proceedings of the 2017 Workshop on ITSP. 2017. P. 59–60.
9. *Habibur Rahman, Mamunoor Islam* A Practical Approach to Spectrum Analyzing Unit Using RTL-SDR // Rajshahi University Journal of Science & Engineering. 2016. No. 44. P. 151–159.
10. *Фомин АВ., Самойлов Д.М., Копалов Ю.Н.* Применение SDR технологии для определения местоположения в режиме реального времени // 77-я НТК Санкт-петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио. СПб.: СПб НТО РЭС им. А.С. Попова, 2022. С. 47–48.

*О.Ю. Данилова, С.А. Телкова*

*Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия*

## **МОДИФИЦИРОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ СЕТИ ФЕЙСТЕЛЯ В СОВРЕМЕННЫХ КРИПТОАЛГОРИТМАХ**

Жизнь современного человека уже невозможно представить без использования всевозможных технических устройств, таких как мобильные телефоны, планшеты, компьютеры. Много покупок совершается дистанционно через различные интернет-платформы, что в свою очередь открывает возможность мошенникам завладеть конфиденциальной информацией пользователя и воспользоваться ей в своих целях. Поэтому в современном мире большую роль играет информационная безопасность и разнообразные криптографические методы для защиты персональной информации [1, 2], которые позволяют защитить частные данные от несанкционированного доступа.

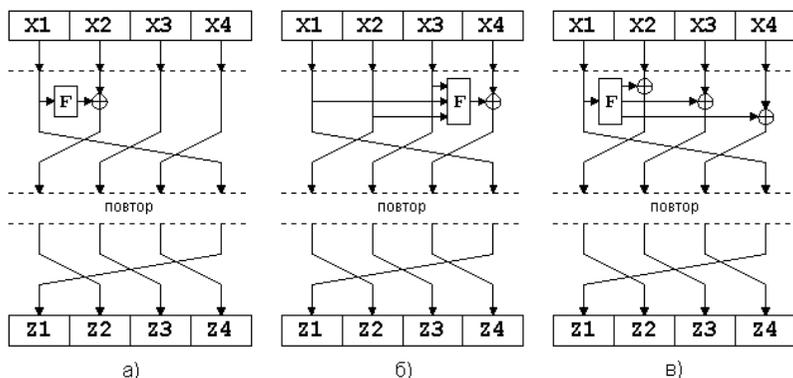
Современные криптографические алгоритмы делятся на симметричные (ключи шифрования и расшифрования являются секретными) и асимметричные (ключ шифрования является открытым, а ключ расшифрования закрытым) [3; 4]. На основе алгоритмов построены всевозможные криптопротоколы, используемые для защиты персональной информации. Одним из главных условий построения шифров является то, что только знание ключей позволяет расшифровать зашифрованное сообщение [5; 6].

Разработанная еще в 70-х годах прошлого столетия классическая сеть Фейстеля часто используется в современных криптографических алгоритмах. Столь широкое использование сети Фейстеля обусловлено ее легкой аппаратной и программной реализациями, а также достаточно высокой стойкостью к криптоанализу. Сеть Фейстеля является примером блочного симметричного алгоритма шифрования. В классической модели сети Фейстеля каждый блок с информацией делится на две части, с каждой

из которой производят некоторые обратимые математические преобразования [7; 8], при этом преобразованная часть накладывается на другие. Использование одинаковых математических действий позволяет распространить процесс шифрования с одного блока на все сообщение. Математические операции, применяемые к одному блоку, выбирают таким образом, чтобы их было легко реализовать на практике. Примером такого математического действия является операция побитового сложения по модулю 2 (XOR). Так как используемые математические операторы обратимы, то для расшифрования сообщения необходимо выполнить действия аналогичные для шифрования с обратным порядком ключей.

За всю долгую историю использования классической сети Фейстеля выявились и ее недостатки. В частности, так как каждый раз изменяется лишь половина блока, то для достижения высокой криптостойкости необходимо увеличивать количество раундов.

Для повышения криптостойкости алгоритмов на основе сетей Фейстеля применяют модели, в которых блоки разбиваются не на две части, а на большее количество частей. Примеры модифицированных моделей сети Фейстеля, в которых блок разбивается на четыре части одинаковой длины, показаны на рисунке. Также существуют несбалансированные модификации, в которых блок разбивается на части различной длины.



Модифицированные модели сети Фейстеля

На модифицированных сетях Фестеля с четырьмя блоками построены криптопротоколы: IDEA, MacGuffin, MISTY1, RC2, Rc6, Sinople, Skipjack, Twofish, X-Tea3. Существуют криптографические алгоритмы и с 16 блоками.

### **Литература**

1. *Бабаиш А.В., Шанкин Г.П.* Криптография. М.: Солон-Р, 2002. 512 с.
2. *Зубов А.Ю.* Совершенные шифры. М.: Гелиос, 2003. 160 с.
3. *Данилова О.Ю., Думачев В.Н.* Математические основы криптографии: учебник. Воронеж: ВИ МВД России, 2017. 301 с.
4. *Думачев В.Н., Меньших В.В., Телкова С.А.* Алгебра и геометрия: учебник. Воронеж: ВИ МВД России, 2014. 431 с.
5. *Иванов М.А.* Криптографические методы защиты информации в компьютерных сетях. М: Кудиц-образ, 2001. 368 с.
6. *Молдавян А.А.* Криптография: скоростные шифры. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 496 с.
7. *Баричев С.Г., Гончаров В.В., Серов Р.Е.* Основы современной криптографии. М.: Горячая линия – Телеком, 2002. 175 с.
8. *Столлингс В.* Криптография и защита сетей: принципы и практика: пер. с англ. 2-е изд. М.: Вильямс, 2001. 672 с.

***П.А. Забусова, В.Е. Драч<sup>1</sup>***

*Сочинский государственный университет, г. Сочи, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 9241-0460

## **СРЕДСТВА ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РИСКОВ В БАНКОВСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Информационная безопасность – это комплекс мер и средств, направленных на защиту конфиденциальности, целостности и доступности информации. Основная цель информационной безопасности заключается в обеспечении защиты от любого несанкционированного доступа, утечек и изменения данных.

Особого внимания к рискам информационной безопасности заслуживает банковская сфера, так как стоимость информации в компаниях, работающих в данной области, ещё выше за счёт превалирования персональных данных клиентов, обладание которыми даёт возможность получить несанкционированный доступ к финансовым ресурсам. Кроме того, существует такое понятие, как банковская тайна, суть которого заключается в обязанности каждого банка защищать сведения о своих клиентах. Таким образом, информация, задействованная в работе коммерческих банков, нуждается в особой защите от потери ее свойств, а именно конфиденциальности, целостности и доступности [2].

Мошенники применяют разные типы атак: DDoS-атаки, фишинг, распространение вредоносного и вымогательского программного обеспечения, внутренние риски (зачастую именно банковский персонал становится причиной утечки). Кроме того, незащищенные мобильные устройства становятся причиной доступа злоумышленников к личным данным пользователя, а после уже и к приложениям банка [3].

Чтобы предотвратить хищение средств клиентов, финансовые организации используют различные средства информационной безопасности.

В их числе:

- программные средства защиты от внутренних и внешних угроз, а также мошенничества в области электронной коммерции (межсетевые экраны, антивирусы, многофакторная аутентификация клиентов при использовании банковских программных продуктов);

- аудит информационной безопасности и мониторинг сети для выявления уязвимостей покажут, насколько хорошо работает система безопасности и какие элементы сети лучше обновить для предотвращения возможных рисков;

- обучение персонала повышает осведомленность банковских работников в вопросах киберугроз;

- использование оптимальных автоматизированных решений в сфере кибербезопасности, которые позволяют упростить мониторинг транзакций с целью блокировки подозрительного трафика.

В быстро развивающемся мире технологий мошенники становятся все более продвинутыми, что создает значительные проблемы при выявлении мошеннической деятельности [1]. Недостаточное внимание к рискам в области информационной безопасности всегда несет за собой крупные неблагоприятные последствия для компаний и их клиентов. Кибератака может не просто привести к потере прибыли, но и полностью лишить организацию способности функционировать. Клиенты могут потерять доверие и перевести свои активы в другое учреждение. Если угрозу не удастся предотвратить, банкам приходится тратить огромные средства на расследование инцидентов, восстановление данных и собственной репутации.

Итак, банкам необходимо поддерживать систему информационной безопасности на должном уровне, достаточном для того, чтобы не только гарантировать сохранение банковской тайны, но и оставаться привлекательными для потенциальных клиентов за счет повышенной заботы о предотвращении разглашения персональных данных своих вкладчиков и заемщиков так же, как и о надежности их финансовых вложений [2].

На основании проведенного обзора целесообразно сделать вывод о том, что несмотря на многообразие возможностей злоумышленников взломать ИТ-инфраструктуру банка и украсть

ценную информацию, обеспечение безопасности финансового учреждения вполне реально. Организациям кредитно-финансовой сферы важно использовать различные программные и технические средства для обеспечения защиты и постоянного контроля качества работы своих информационных систем; вести строгий учет всех элементов программных продуктов; контролировать действия сотрудников и обучать их в соответствии с существующими стандартами безопасности; ограничивать доступ к информационным ресурсам, в зависимости от полномочий и обязанностей специалистов; а также привлекать персонал к ответственности за намеренное разглашение данных.

### **Литература**

1. *Ильичев В.Ю., Драч В.Е., Забусова П.А., Капитонова М.С.* Использование искусственного интеллекта для выявления и предотвращения мошенничества при закупках // Системный администратор. 2024. № 4 (257). С. 92–96.
2. *Костерина А.А.* Анализ рисков информационной безопасности в банковской сфере // Современная наука: проблемы и перспективы развития: материалы международной (заочной) научно-практической конференции. Душанбе: Научно-издательский центр «Мир науки», 2016. С. 133–136.
3. *Прокопин К.Р., Кивачук А.В.* Информационная безопасность в банковской сфере // Современные средства связи. 2023. Т. 1, № 1. С. 124–125.

**О.А. Миронов**

*Саратовский государственный технический университет  
им. Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия*

## **MODEL CHECKING КАК ОСНОВА ФОРМАЛЬНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ СИСТЕМ**

В эпоху развития сложных программных и аппаратных систем проверка их корректности становится критически важной задачей. Model Checking (Проверка модели) [1–3] представляет собой один из наиболее эффективных методов формальной верификации, позволяющий автоматически анализировать все возможные состояния системы и проверять соответствие заданным свойствам. Этот метод активно применяется в разработке критически важных систем, включая авиацию, медицину и сетевые технологии [4].

Model Checking включает три ключевых этапа:

1. Моделирование системы: Описание поведения системы в виде формальной модели, такой как конечный автомат.
2. Формализация требований: Определение свойств с помощью временной логики (LTL, CTL).
3. Автоматическая проверка: Исследование пространства состояний системы с использованием специализированных инструментов, таких как SPIN, NuSMV и PRISM [4; 5].

Без проверки модели компании могут столкнуться с проблемами неполного тестирования, невозможностью анализа всех возможных состояний системы и потенциальными уязвимостями. Это особенно критично в безопасных и надёжных системах, где ошибки могут привести к катастрофическим последствиям.

В настоящей работе рассматривается задача верификации сетевого протокола передачи файлов TFTP (Trivial File Transfer Protocol). Этот протокол, широко используется для передачи файлов в локальных сетях. Основная цель работы – убедиться, что

реализация TFTP-сервера корректно обрабатывает все возможные сценарии взаимодействия с клиентом, включая правильную последовательность сообщений, обработку ошибок и повторных передач, соблюдение ограничений на размер блока данных.

Для верификации был выбран инструмент SPIN и язык моделирования Promela. С его помощью была построена модель, описывающая поведение клиента и сервера TFTP, включая возможные состояния и переходы между ними. Результат проверки представлен на рисунке.

```
(Spin Version 6.4.6 -- 2 May 2018)
State-vector 48 byte, depth reached 7, errors: 0
 8 states, stored
 0 states, matched
 9 transitions (= stored+matched)
 2 atomic steps
hash conflicts:          0 (resolved)
```

Результаты запуска проверки

## Литература

1. Беспалов А.Ю. Формальные методы верификации программных систем. М.: Изд-во МГТУ, 2020.
2. Петров В.И. Теория автоматической верификации. СПб.: Наука, 2019.
3. Смирнов К.Ю. Model Checking: основы и применение. Екатеринбург: УралТех, 2021.
4. Болдырева Ю.Ю., Хворостухина Е.В. Проектирование сервиса визуального программирования для трансляции на язык Promela // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2021. № 2(89). С. 18–26.
5. Болдырева Ю.Ю., Хворостухина Е.В. Разработка транслятора схем в язык Promela // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2023. – № 2(97). – С. 5–18.

*И.Д. Эпов*

*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

## **СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ В ОБЛАЧНОМ IDE ЯЗЫКА REFLEX ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ КОЛЛЕКТИВНОЙ РАЗРАБОТКИ**

В последние десятилетия облачные технологии прочно вошли в повседневную практику разработки программного обеспечения. Одно из направлений их применения – создание интегрированных сред разработки (IDE), которые обеспечивают разработчикам удобный, доступный и гибкий инструмент для работы над проектами. Облачные IDE позволяют командам разработчиков эффективно работать над проектами, объединяя в одном пространстве код, инструменты и сервисы. Однако, с увеличением числа участников и сложности проектов, возникает важная задача обеспечения безопасности, идентификации и управления доступом к ресурсам системы.

В рамках общего проекта предлагается подход к созданию системы идентификации, которая интегрируется в облачную IDE языка Reflex. Процесс идентификации пользователей будет состоять из двух этапов. На первом этапе происходит авторизация пользователя, которая включает проверку его учётных данных и подтверждение личности, а на втором – система определяет уровень доступа пользователя на основе его роли в проекте и предоставляет соответствующие права для работы с кодом. Такой подход моделирует процесс естественного распределения обязанностей в команде, где каждый участник имеет чётко определённые задачи и ограничения, что способствует повышению эффективности работы и минимизации рисков, связанных с несанкционированным доступом или ошибками управления правами.

Основной целью проекта является создание системы идентификации, которая обеспечивает безопасность и эффективность коллективной разработки в облачном IDE Reflex. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач, включая выбор подходящих технологий для реализации системы, анализ существующих методов аутентификации и авторизации, а также определения требований к системе. Важным аспектом является также обеспечение масштабируемости системы, чтобы она могла адаптироваться к растущим потребностям проектов и поддерживать большое количество пользователей без потери производительности.

На данный момент разработана теоретическая основа для системы, включающая в себя анализ современных методов идентификации и управления доступом. На основе проведенного анализа были сформулированы ключевые требования к системе.

В будущем планируется создать архитектуру системы, которая будет включать модуль идентификации, модуль управления доступом и интерфейс для интеграции с облачной IDE Reflex, реализовать модуль идентификации, реализовать модуль управления доступом. Тестирование будет проводиться, как функциональное, так и нагрузочное для оценки устойчивости системы к высоким нагрузкам.

Таким образом, проект направлен на повышение удобства и безопасности работы в облачной IDE, что будет способствовать более эффективной организации коллективной разработки на языке Reflex. Внедрение предложенной системы идентификации позволит минимизировать риски, связанные с утечкой данных или несанкционированным доступом. В перспективе это может стать важным шагом на пути к созданию более безопасных и удобных инструментов для разработки программного обеспечения в условиях растущей цифровизации и глобализации IT-индустрии.

**С.А. Желомко<sup>1</sup>, А.А. Магазев<sup>2</sup>, П.А. Максютенко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ООО «Газпромнефть ИТО», г. Омск, Россия

<sup>2,3</sup>Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

<sup>2</sup>SPIN-код: 2833-0366

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЦЕНАРИЕВ АТАК САРЕС, ОСНОВАННЫХ НА ДАННЫХ О УЯЗВИМОСТЯХ**

В настоящее время наблюдается стремительный рост числа компьютерных преступлений, что требует разработки новых решений для эффективной борьбы с этой проблемой. Одной из ключевых задач в области предупреждения и прогнозирования преступлений в сфере информационной безопасности является нехватка человеческих ресурсов и отсутствие быстрых и точных методов реагирования на возникающие угрозы. В условиях высокой занятости и сложности обработки больших объемов информации специалисты тратят большое количество времени на выполнение своих обязанностей. Таким образом, возникает необходимость в автоматизации множества процессов, что можно достичь с помощью моделей машинного обучения.

В настоящее время методы искусственного интеллекта активно применяются специалистами в различных областях, включая информационную безопасность [1]. Эксперты уже поднимали вопрос о прогнозировании сценариев атак, используя алгоритмы машинного обучения; отметим, например, работу [2], в которой авторы проводили сопоставление данных об уязвимостях и шаблонах атак с использованием методов семантического анализа текстов и машинного обучения. Настоящее исследование продолжает это направление и ставит своей целью сравнение и оценку точности различных методов машинного обучения для прогнозирования САРЕС-шаблонов атак на основе данных об уязвимостях из БДУ ФСТЭК.

Отметим, что существующие базы данных угроз и сценариев атак, такие как CVE, CWE и CAPEC, имеют общие элементы и взаимосвязи. Вместе с тем, эти связи не всегда однозначны, что затрудняет анализ уязвимостей и прогнозирование актуальных шаблонов атак. В результате специалистам по безопасности приходится вручную сопоставлять идентификаторы CVE с соответствующими техниками из CAPEC, что приводит к существенным временным затратам и ошибкам в интерпретации данных. Для минимизации этих проблем желательно использовать автоматизированные инструменты, которые могут облегчить процесс сопоставления CVE-уязвимостей и CAPEC-шаблонов атак.

В настоящей работе для решения указанной задачи нами предлагается использовать методы машинного обучения. Используя БДУ ФСТЭК, мы выявляем актуальные уязвимости и определяем связанные с ними недостатки программного обеспечения CWE. В ходе дальнейшего анализа для выбранных недостатков нами устанавливаются «близкие по смыслу» сценарии атак из списка CAPEC. В результате этого процесса мы формируем дата-сет, который включает идентификаторы уязвимостей CVE, их описания, ассоциированные с ними шаблоны CAPEC и их описания.

На следующем этапе мы определяем «близость» текстовых описаний уязвимостей и шаблонов атак, преобразовав эти описания в цифровое представление. В результате семантической обработки текста формируется словарь встречающихся слов в нормализованной форме, на основе которого происходит преобразование текстовых описаний уязвимостей и шаблонов атак в числовые векторы двумя способами: по частоте встречаемости слов на основе подсчёта обратных частот (TF-IDF).

Полученный дата-сет разбивается на тренировочную и тестовую выборки, после чего тренировочная выборка используется для обучения той или иной модели. В качестве конкретных моделей машинного обучения мы выбрали наивный байесовский классификатор, логическую регрессию, метод опорных векторов, адаптивный и градиентный бустинг. После обучения каждой из этих моделей, мы осуществили сравнение их эффективности путём применения к записям тестовой выборки.

Результаты исследования показали, что наивысшая точность была достигнута с помощью градиентного бустинга с применением векторов частот слов. Адаптивный бустинг оказался чуть менее точным, а логистическая регрессия и метод опорных векторов показали одинаковые результаты. Наихудший результат продемонстрировал наивный байесовский классификатор.

Данная работа подчеркивает важность интеграции машинного обучения в сфере кибербезопасности. Мы надеемся, что наши результаты станут основой для дальнейших исследований и помогут создать более надежные системы защиты от кибератак.

### **Литература**

1. *Fedin F.O., Trubienko O.V., Chiskidov S.V.* Machine learning model of an intelligent decision support system in the information security sphere // 2020 International Russian Automation Conference. 2020. P. 215–219.
2. *Kanakogi, Kenta, Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, Shinpei Ogata, Takao Okubo, Takehisa Kato, Hideyuki Kanuka, Atsuo Hazeyama, Nobukazu Yoshioka.* Tracing CAPEC Attack Patterns from CVE Vulnerability Information using Natural Language Processing Technique. Hawaii International Conference on System Sciences, 2021.

*А.А. Магазев<sup>1</sup>, А.Ю. Никифорова<sup>2</sup>*

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 2833-0366, <sup>2</sup>SPIN-код: 4633-3731

## **ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ПРЕДЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ ЭПИДЕМИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ВИРУСОВ В РАМКАХ BSS-МОДЕЛИ**

В связи с тем, что в мире регулярно появляются новые типы вирусов, как биологических, так и компьютерных, а для разработки эффективных противовирусных средств (вакцин, программ) требуется время, продолжает оставаться актуальным моделирование процесса распространения «абстрактных» вирусов. Существует большое количество моделей, использующих для описания эпидемий аппарат дифференциальных уравнений и допущение, что время и количество инфицированных и здоровых индивидов являются непрерывными переменными [1]. «Непрерывные» модели позволяют получить долгосрочный прогноз распространения вируса в популяции (сети). Однако при описании динамики распространения вирусов на начальном этапе эпидемии у таких моделей по сравнению с экспериментальными данными обнаруживается существенная погрешность. Поэтому для более точного моделирования применяются так называемые «дискретные» модели, в которых, как следует из наименования, время и количество инфицированных и здоровых индивидов являются дискретными величинами [2; 3]. Одной из наиболее интересных моделей этого типа является дискретная марковская модель, описанная в работе [3] авторами L. Billings, W.M. Spears, I.B. Schwartz. Далее будем называть эту модель по первым буквам фамилий авторов – BSS-моделью.

В рамках данной модели [3] компьютерная сеть рассматривается как ориентированный граф, узлы которого интерпретируются как компьютеры, а рёбра – как возможные каналы передачи вирусов между ними. Свойства графа задаются через параметр

связности  $c$ , определяемой как средняя относительная степень всех вершин графа. Состоянием данной сети в каждый дискретный момент времени  $t$  объявляется количество заражённых узлов,  $I = 0, 1, 2, \dots, N$ . Предполагается, что каждое последующее состояние сети определяется только лишь предыдущим состоянием (свойство марковости), тогда динамика переходов между состояниями представляет собой некоторую марковскую цепь. Параметрами BSS-модели также служат:  $\beta$  – вероятность передачи инфекции между узлами и  $\delta$  – вероятность того, что заражённый узел станет восприимчивым (излечится).

Авторы работы [3] предлагают использовать для определения динамики соответствующей марковской цепи матрицу переходных вероятностей, вычисляемую по формуле:

$$\pi_{I,I'} = \sum_{x=\max\{0, I-I'\}}^{\min\{I, N-I'\}} C_I^x \delta^x (1-\delta)^{I-x} C_{N-I}^{x+I'-I} \mu^{x+I'-I} (1-\mu)^{N-I'-x}, \quad (1)$$

в которой величина  $\mu$  представляет собой вероятность заражения восприимчивого (незаражённого) узла в данном состоянии  $I$  и определяется следующим выражением [3]:

$$\mu(I) = \sum_{k=0}^I \left(1 - (1-\beta)^k\right) C_I^k c^k (1-c)^{I-k} = 1 - (1-\beta c)^I. \quad (2)$$

Используя формулы (1) и (2), в соответствии со стандартными методами теории марковских цепей, можно вычислять вероятности различных состояний сети, и затем среднее число заражённых узлов в любой момент времени  $t$ , а затем предельное среднее число заражённых узлов при  $t \rightarrow \infty$ :

$$I_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} \langle I \rangle (t).$$

В данной статье мы продолжаем исследование BSS-модели, начатое ранее в работе [4], и проведем анализ влияния на величину предельного среднего числа заражённых узлов  $I_\infty$  следующих параметров: начального числа заражённых узлов  $I_0$ , вязности  $c$ , вероятности передачи инфекции  $\beta$ , вероятности лечения  $\delta$ .

Для организации данных вычислений нами была разработана некоторая совокупность подпрограмм в рамках системы символьных вычислений WolframMathematica. Были проведены расчеты, в которых изменялись следующие параметры: начальное число заражённых узлов  $I_0$ , связность  $c$ , вероятность передачи инфекции  $\beta$ , вероятность лечения  $\delta$ . Полученные результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

**Зависимость  $I_\infty$  от начального числа зараженных узлов  $I_0$   
и связности  $c$  для графа  $N = 100$ ,  $\beta = 0,25$  и  $\delta = 0,25$**

$N$	$\beta$	$\delta$	$c$	$I_0$	$I_\infty$
100	0,25	0,25	0,05	1	62,1
				30	67,5
				90	67,5
			0,1	1	75,6
				30	77,2
				90	77,2
			0,2	1	79,3
				30	79,7
				90	79,7
			0,5	1	80
				30	80
				90	80
			0,9	1	80
				30	80
				90	80

Таблица 2

**Зависимость  $I_\infty$  от начального числа зараженных узлов  $I_0$ ,  
вероятность передачи инфекции  $\beta$ , вероятности лечения  $\delta$**

$N$	$c$	$\beta$	$\delta$	$I_0$	$I_\infty$
100	0,1	0,25	0,25	1	75,6
				30	77,2
				90	77,2
		0,25	0,5	1	57,1
				30	57,2
				90	60,7
		0,25	0,75	1	45,0
				30	48,3
				90	48,2
		0,5	0,25	1	79,5
				30	79,7
				90	79,7
		0,5	0,5	1	65,5
				30	65,8
				90	65,8
		0,75	0,5	1	66,5
				30	66,5
				90	66,5

Наибольшую погрешность (около 5% от  $N$ ) ожидаемо наблюдаем при  $c = 0,05$  и  $I_0 = 1$ , в связи с тем, что значение связности близко к критическому  $c = \ln N / N$ , меньше которого граф становится не связным. Анализ таблицы также показал, что при  $c > 0,1$  изменение начального числа зараженных узлов  $I_0$  незначительно влияет на  $I_\infty$  – менее 1 % от  $N$ . Но при  $c \leq 0,1$  влияние усиливается, поэтому было принято решение изучить зависимость  $I_\infty$  от начального числа зараженных узлов  $I_0$  при  $c = 0,1$ , изменяя параметры  $\beta$  и  $\delta$ .

Анализ таблицы 2 показывает, что влияние изменения вероятности передачи инфекции  $\beta$  и вероятности лечения  $\delta$  не превысило 3 % от  $N$ .

Таким образом, мы получили подтверждение того, что при заданных параметрах сети ( $N$  и  $c$ ) и эпидемии ( $\beta$  и  $\delta$ ) начальное количество зараженных узлов  $I_0$  незначительно влияет на предельное среднее количество зараженных узлов.

## Литература

1. *Климентьев К.Е.* Компьютерные вирусы и антивирусы: взгляд программиста. М.: ДМК Пресс, 2013.
2. *Далингер Я.М., Бабанин Д.В., Бурков С.М.* Математические модели распространения вирусов в компьютерных сетях различной структуры // Информатика и системы управления. 2011. № 4. С. 3–11.
3. *Billings L., Spears W. M., Schwartz I. B.* A unified prediction of computer virus spread in connected networks // Physics Letters A. 2002. Vol. 297. P. 261–266.
4. *Бельченко А.О., Магазев А.А., Никифорова А.Ю.* Приближённая оценка среднего числа заражённых узлов в марковской модели распространения компьютерных вирусов // Математические структуры и моделирование. 2022. № 1 (61). С. 92–104.

*Д.М. Арушанян*

*Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,  
г. Омск, Россия*

## **ВНЕДРЕНИЕ АДМИНИСТРИРУЮЩИХ ПОЛНОМОЧИЙ В РАМКАХ РОЛЕВОЙ МОДЕЛИ РАЗГРАНИЧЕНИЯ ДОСТУПА**

В современном мире разграничение доступа к информации является весьма важной задачей для обеспечения информационной безопасности. Для решения данной задачи были предложены различные подходы, которые кардинально отличаются друг от друга. Среди всех наиболее распространенными оказались дискреционный и ролевой подходы к разграничению доступа.

Дискреционные модели характеризуются тем, что права доступа в них определяются непосредственно, что позволяет детально управлять доступом, но при этом требует большого количества ресурсов. Одной из известных является модель Take-Grant, где информационная система представляется в виде ориентированного графа.

Ролевые модели представляют собой гибкий механизм контроля доступа, в котором субъекты получают права на основании присуждаемых ролей. В классической ролевой модели права доступа группируются в полномочия, которые затем объединяются в роли, назначаемые пользователям. Данный подход облегчает управление правами доступа и упрощает их администрирование, что весьма полезно, особенно в крупных информационных системах, но при этом лишает возможности детального управления доступом.

В связи с непрерывным совершенствованием и видоизменением современных компьютерных систем ограничения, которыми, так или иначе обладает каждый из вышеперечисленных подходов, порождает потребность в синтезе гибридных моделей, которые могли бы сочетать в себе преимущества классических

моделей разграничения доступа, а также минимизировать их недостатки.

В рамках данной работы предложено совместить ключевые особенности дискреционной модели Take-Grant и ролевой модели для возможности более гибкого администрирования компьютерной системы, благодаря введению специальных полномочий take и grant в ролевую модель, что позволяет осуществлять более детальный контроль за полномочиями системы, а также масштабировать модель под нужды крупных информационных систем. Для чего была доказана теорема о возможности внедрения полномочий в рамках иерархического охватного подхода к организации иерархии, и при отсутствии иерархической структуры.

**Теорема.** Внедрение администрирующих полномочий take и grant возможно либо в случае отсутствия иерархической структуры, либо в рамках иерархического охватного подхода и невозможно в рамках строго таксономического листового подхода и не таксономического листового подхода.

### **Литература**

1. *Гайдамакин Н.А.* Разграничение доступа к информации в компьютерных системах. Екатеринбург: Издательство Уральского Университета, 2003. С. 328.
2. *Девянин П.Н.* Модели безопасности компьютерных систем. М.: Академия, 2005. С. 144.

**Т.В. Вахний<sup>1</sup>, С.В. Вахний**

*Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,  
г. Омск, Россия*

<sup>1</sup>SPIN-код: 3566-8640

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕФЛЕКСИВНОЙ БИМАТРИЧНОЙ ИГРЫ**

В настоящее время в условиях всеобщей цифровизации экономики обеспечение кибербезопасности и сохранности данных приобретает первостепенное значение. Успешная кибератака может привести к утечке конфиденциальной информации, финансовым потерям, нарушению работы критически важных систем, а также к серьёзному ущербу репутации организации и риску прекращения её деятельности. Построение надёжной системы безопасности становится всё более сложной задачей, требующей постоянной адаптации к новым угрозам. Теоретико-игровые модели предоставляют мощный инструмент для анализа взаимодействия между администратором безопасности и атакующими, позволяя оптимизировать выбор методов и средств защиты для построения наилучшей системы безопасности, минимизирующей экономические риски компании [1–3].

Один из подходов, моделирующих взаимодействие администратора безопасности и атакующего хакера, основан на проведении биматричной игры, в которой интересы игроков не совпадают и задаются разными платёжными матрицами [1]. В платёжных матрицах строки соответствуют стратегиям одного игрока, а столбцы – стратегиям другого игрока, на их пересечении в первой платёжной матрице стоит цена игры для администратора безопасности, а во второй – цена игры для хакера. Целью администратора безопасности является выбор такой стратегии, т. е. набора программных средств защиты, который сводит по-

тери от атак и затраты на покупку средств защиты к минимуму, а цель атакующего – выбор стратегии, которая даст ему наибольший выигрыш. При этом в биматричной игре игроки выбирают свои стратегии однократно, одновременно и независимо друг от друга. Однако существуют и более сложные рефлексивные игры, в которых каждый игрок пытается предвидеть действия противника, моделируя его рассуждения, и на основе этого выстраивает свою собственную стратегию. В отличие от классической биматричной игры, где игроки знают только свою платёжную матрицу, в рефлексивных играх игроки также учитывают ранг рефлексии противника, то есть его способность к моделированию чужих стратегий [4].

В данной работе математическая модель биматричной игры, описывающей взаимодействие администратора безопасности и атакующего хакера, была дополнена введением рангов рефлексии игроков. В рамках исследования предполагалось, что игрок с нулевым рангом рефлексии знает только собственную платёжную матрицу, а игрок с ненулевым  $k$ -ым рангом полагает, что его противник обладает рангом рефлексии  $k-1$ . Это позволяет ему прогнозировать действия оппонента и выбирать оптимальную стратегию, основываясь как на платёжной матрице, так и на анализе наиболее вероятных действий противника. При этом прогноз ожидаемых выигрышей и выбор стратегий производится им рекурсивно на основе уже рассчитанных стратегий оппонента на уровне  $k-1$ . В биматричных играх, в которых не существует равновесия Нэша, или в которых при существующем равновесии Нэша игроки выбирают субъективные гарантирующие стратегии, выигрыш каждого игрока зависит как от его собственного ранга рефлексии, так и от ранга рефлексии противника [4].

Анализ решений биматричной игры, моделирующей стратегическое взаимодействие администратора безопасности и хакера с учётом рефлексивности их мышления, показал, что более высокий ранг рефлексии обычно даёт игроку преимущество. Однако это преимущество не является безусловным: оптимальный ранг рефлексии зависит от ранга рефлексии противника. В частности, игрок, чей ранг рефлексии на единицу выше, как правило, выигрывает, в то время как при большей разнице в рангах повышение ранга рефлексии не гарантирует игроку улучшения его исхода игры.

Перспективным направлением дальнейших исследований теоретико-игровых рефлексивных моделей представляется изучение динамических и иерархических [3] рефлексивных игр администратора безопасности и хакера, в которых дополнительно вводится неравноправность игроков, например, в смысле различной очередности хода и разной степени осведомлённости.

### **Литература**

1. *Гуц А.К., Вахний Т.В.* Теория игр и защита компьютерных систем: учебное пособие. Омск: Изд-во ОмГУ, 2013. 160 с.
2. *Вахний Т.В., Константинов П.В.* Создание сервиса для анализа защищённости компьютерных систем на основе теоретико-игрового подхода и базы знаний MITRE ATT&CK // Математические структуры и моделирование. 2024. № 2 (70). С. 80–86.
3. *Вахний Т.В., Гуц А.К.* Иерархические игры и защита компьютерных систем // Омские научные чтения-2018: материалы Второй Всероссийской научной конференции (Омск, 10–15 декабря 2018 г.). Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2018. С. 174–175.
4. *Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г.* Рефлексия и управление: математические модели. М.: Издательство физико-математической литературы, 2013. 412 с.