

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
XI Международной научной конференции,
посвященной памяти В.А. Романькова

(Омск, 15 марта 2024 г.)

© ФГАОУ ВО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского», 2024

ISBN 978-5-7779-2680-7



2024

УДК 004+519
ББК 22.18я43+32.973я43
М340

Рецензенты:

канд. юрид. наук, доцент *А.И. Горев*,
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 XI Международной научной конференции, посвященной памяти В.А. Романькова (Омск, 15 марта 2024 г.) / [отв. за вып. И. П. Бесценный]. – Омск : Издательство Омского государственного университета, 2024. – 1 CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7779-2680-7

В настоящий сборник включены тезисы докладов, присланные на XI Международную научную конференцию «Математическое и компьютерное моделирование». Она состоялась на факультете цифровых технологий и кибербезопасности ОмГУ им. Ф.М. Достоевского 15 марта 2024 г. и была посвящена памяти В.А. Романькова.

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 или выше; ОЗУ 512 Мб; Microsoft Windows XP/Vista/7/8/10; Adobe Acrobat Reader 8.0 и выше; CD-ROM; мышь

ISBN 978-5-7779-2680-7

© Оформление. ФГАОУ ВО «ОмГУ
им. Ф.М. Достоевского», 2024

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

Дата выпуска: 14.03.2024.
1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.
Тираж 8 копий. Объем 4,1 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

Романьков Виталий Анатольевич (12.02.1948 – 13.12.2023)	10
<i>Трейер А.В.</i> О неразрешимости проблемы вхождения в подмоноид в нильпотентных группах.....	12

Секция «Алгебра и дискретная математика»

<i>Даниярова Э.Ю., Мясников А.Г.</i> Элементарная теория метабелевых неабелевых групп Баумслага–Солитера	14
<i>Велько О.А., Мартон М.В.</i> Моделирование процессов природы и общества с помощью графов	16
<i>Гутор А.Г., Тихонов С.В.</i> О корнях многочленов с коэффициентами в алгебре гамильтоновых кватернионов.....	20
<i>Yang G., Podoksenov M.N.</i> Special three-dimensional Lie algebra and its group of autoisomorphisms	24
<i>Linkevich M.V., Podoksenov M.N.</i> Self-similar Lie group $\mathcal{E}(1,1)$	27
<i>Трубников Ю.В., Чернявский М.М.</i> О получении рациональных формул для кратных корней полиномов без использования конструкций результатов	30
<i>Рыбалов А.Н.</i> О сложности решения уравнений над графами.....	33
<i>Бучинский И.М.</i> Булевы графы.....	35
<i>Захарова Ю.В., Захаров А.О.</i> Исследование множества Парето двухкритериальной задачи по выполнению многокомпонентных заказов клиентов	37
<i>Леванова Т.В.</i> Моделирование задачи организации радиосвязи с учетом особенностей ландшафта	39

Секция «Математические модели и методы»

<i>Яр-Мухамедов И.Г.</i> Модель оптимальной кластерной структуры	41
<i>Маркова Л.В., Коробко Е.В., Харламова И.М.</i> Моделирование теплофизических свойств ЭРЖ под влиянием внешних физических полей	44
<i>Маркова Л.В., Журавский Н.А., Коробко Е.В., Радкевич Л.В.</i> Модель поведения магнитореологической жидкости	47
<i>Мартон М.В.</i> Связь высшей математики и информационных технологий в университетской подготовке химиков	49

<i>Velko O.</i> Modern approaches to providing the foundations of higher mathematics and probability theory to sociology students.....	52
<i>Михайлова Н.В.</i> Концептуальное понимание математического доказательства и его изменение в практике информационных технологий.....	58
<i>Гутор А.Г., Стацулёнок С.П.</i> О придании смысла понятию математического ожидания случайной величины Коши	61
<i>Матейко О.М., Яблонская Н.Б.</i> Математическое моделирование совместного существования двух популяций	64
<i>Бородич С.М., Кавитова Т.В.</i> О поведении решений одного неавтономного гиперболического уравнения при $t \rightarrow +\infty$	67
<i>Никитин А.И., Булыно Д.А.</i> Единственность решения начально-краевых задач для систем полулинейных параболических уравнений с поглощением и нелинейными нелокальными граничными условиями	70
<i>Панкратов И.А.</i> О построении равномерно пригодного решения кватернионных уравнений движения космического аппарата	72
<i>Гуц А.К.</i> Циклические процессы в модели природных явлений «оползни-затопления-землетрясения».....	75
<i>Архипенко А.В.</i> Моделирование перемещения насыпного груза по рабочему органу виброконвейера	78
<i>Шевкун И.А., Масловская А.Г.</i> Моделирование эволюции бактериальных популяций с колонизационным потенциалом: реакционно-диффузионное приближение	82
<i>Максимова Н.Н., Лисинь Пань.</i> Моделирование влияния иммунотерапии на динамику хронического лимфолейкоза	85
<i>Саруханян С.К.</i> Подходы к индексации двумерных решеток клеточных автоматов в задачах моделирования роста биопленок.....	88
<i>Вейкай Линь, Мороз Л.И.</i> Обзор математических моделей динамики распределения температуры в злокачественных новообразованиях	92
<i>Бухаров Д.Н., Зотов А.И.</i> Моделирование увеличения силы тока на нанокластерной фрактальной структуре теллурида свинца	95
<i>Глубоких А.В., Голубятников В.П.</i> Нелокальные колебания и «спрятанные аттракторы» в моделях генных сетей.....	98
<i>Аюпова Н.Б., Волокитин Е.П., Голубятников В.П.</i> Неединственность нелокальных циклов в 3d модели молекулярного репрессилатора	101
<i>Смирнова А.Д., Рязанцева Л.Т.</i> Использование LUR-моделей для прогнозирования загрязнения воздуха городской среды	104
<i>Моисеева Н.А., Полякова Т.А.</i> Регрессионный анализ данных в технических исследованиях.....	107

Секция «Компьютерные технологии»

<i>Большакова П.Н.</i> Разработка адаптивного приложения для обучающих курсов с возможностью дальнейшего расширения.....	110
<i>Астапенко Н.В., Карамышев А.Д., Пунделев И.И.</i> Роль CRM-систем в деятельности современного бизнеса	113
<i>Астапенко Н.В., Путишев С.А., Кенжеев Б.Н.</i> Разработка автоматизированной системы для повышения эффективности бизнес-процессов юридического центра «Victory»	116
<i>Ширяев Н.А.</i> Исследование методов прогнозирования временных рядов.....	119
<i>Уваров К.А.</i> Поддержание бдительности водителя с помощью воздействий	122
<i>Семочкина Е.В.</i> Модель внешнеэкономической деятельности рекламной компании, выполненная в инструментальной среде «ARIS EXPRESS»	125
<i>Семочкина Е.В.</i> Анализ интереса посетителей к информации web-сайта	128
<i>Семочкина Е.В.</i> Модель ИТ-инфраструктуры рекламной компании, выполненная в инструментальной среде «ARIS EXPRESS»	130
<i>Евдокимова В.В., Афанасов Л.С., Масловская А.Г.</i> Информационная поддержка диагностики сигналов электрокардиограммы с использованием мультифрактального вейвлет-анализа.....	132
<i>Салмиянов В.О.</i> Адаптация алгоритмов сегментации КТ-снимков для анализа легких на основе мультифрактальных характеристик ...	135
<i>Манаков Н.А., Ерёмин А.М.</i> Компьютерное моделирование магнитных структур в одноосных ферромагнетиках	138
<i>Пекишев Д.В.</i> Компьютерные технологии и модели обработки информации для поиска скомпрометированных данных, попавших в открытый доступ.....	141
<i>Кольева Н.С., Акуз К.В.</i> Особенности применения С#	144
<i>Кольева Н.С., Панова М.А., Шемакин В.В.</i> Примеры использования интеграции веб-программирования и AR в различных отраслях	146
<i>Кольева Н.С., Шербан К.Я.</i> Информационная система для автоматизации процессов отдела кадров	148
<i>Низамова Г.Ф., Захарян Г.А., Шундеев А.В.</i> Информационная поддержка процесса заполнения индивидуальных планов преподавателей ВУЗа	151

<i>Бутхузи Н.В., Будников К.И.</i> Программный комплекс для сегментации изображений рентгенограмм легких.....	154
<i>Черненко И.М.</i> Шаблоны дополнительного инварианта в дедуктивной верификации роST-программ, не зависящие от шаблонов требований	156
<i>Веретенников П.С.</i> Моделирование управления движением методом системной динамики в среде ИСМА.....	159
<i>Рабинович Е.В., Туркин А.С.</i> Компьютерное моделирование осей синфазности по нескольким сейсмограммам отраженных волн	161
<i>Кузнецов Е.В.</i> Разработка модуля управления проектами для облачного IDE языка Reflex.....	164
<i>Ищенко А.Д.</i> Особенности определения аксиоматической семантики выражений в процесс-ориентированном языке Reflex.....	167
<i>Масеевский А.М.</i> Архитектура виртуального лабораторного практикума для обучения созданию алгоритмов управления	170

Секция «Искусственный интеллект»

<i>Астапенко Н.В., Бурханов Р.Р.</i> Разработка системы тегирования и корректировки ключевых слов для обучения нейронной сети на основе распознанных текстов.....	173
<i>Астапенко Н.В., Тришин И.Г.</i> Категориальная кросс-энтропия для sentiment-анализа текста с помощью рекуррентных нейронных сетей LSTM и GRU	177
<i>Лазовская Т.В., Паламарчук В.В., Разумов Е.М., Сергеева А.А., Тархов Д.А., Чистякова М.А.</i> Сравнение нейросетевых моделей и моделей на основе аналитической модификации численных методов на примере нелинейного изгиба консольного стержня.....	182
<i>Закирова М.Д., Лавыгин Д.А., Скрипкин О.А., Тархов Д.А.</i> Применение нейросетевого метода для решения задачи управления динамической системой.....	185
<i>Закирова М.Д., Корчагин А.П., Лавыгин Д.А., Скрипкин О.А., Тархов Д.А., Чернуха Д.А.</i> Применение нейросетевых методов для моделирования электродвигателя разводного моста как блока комплексной динамической системы	188
<i>Лазовская Т.В.</i> О многоуровневых нейросетевых моделях реальных объектов с архитектурой, основанной на физике	191
<i>Паламарчук В.В.</i> Построение общей нейросетевой модели разводного моста на основе моделей его отдельных блоков.....	194
<i>Дудич М.О., Максимова Н.Н.</i> Свёрточная нейронная сеть для диагностики заболеваний легких	197

<i>Борисов Д.А., Будников К.И.</i> Применение глубокого обучения для анализа сетевого трафика.....	200
<i>Котов Р.В., Будников К.И.</i> Разработка тестового стенда для эмуляции modbus трафика интеллектуальных устройств в АСУ ТП.....	203
<i>Подгорный М.Е., Будников К.И.</i> Методы диагностики заболеваний позвоночника с помощью машинного обучения	206
<i>Помогаев М.П., Будников К.И.</i> Постановка диагнозов заболеваний с помощью аналитических и генеративных нейронных сетей	209
<i>Помогаев П.П., Будников К.И.</i> Исследование массивов данных о заболеваниях растений методами машинного обучения для их определения и классификации.....	212
<i>Потапова А.С., Будников К.И.</i> Исследования нейрофизиологических свойств мозга с использованием машинного обучения	215
<i>Степанюк В.В., Будников К.И.</i> Анализ солнечной активности с использованием машинного обучения.....	218
<i>Щелоков А.Е., Будников К.И.</i> Разработка системы поддержки принятия врачебных решений на основе рентгеновских снимков со встроенным ИИ для узкого клинического специалиста	221
<i>Филимонов В.А.</i> Коллективный разум и субъектность нейросетей.....	223
<i>Леванова Т.В., Гетте А.В.</i> Генетический алгоритм для размещения наземных станций в глобальной спутниковой сети.....	226
<i>Захарова Ю.В., Сахно М.Ю.</i> Адаптивный вызов процедур и настройка параметров в эволюционных алгоритмах для задач составления расписаний.....	228
<i>Березин А.А., Агалаков С.А.</i> Классификация фенотипов заболевания желудочно-кишечного тракта с помощью моделей машинного обучения	230
<i>Gurieva O.</i> Application of Artificial Intelligence for Optimization of Energy Consumption with Integration of Renewable Energy Sources	233
<i>Голованов А.Л.</i> Разработка системы аутентификации по клавиатурному почерку на основе свободных текстов	236

Секция «Информационная безопасность»

<i>Дульнева А.В., Дюнова Д.Н.</i> Исследование надежности и риска системы пожаротушения объектов хранения нефтепродуктов	238
--	-----

<i>Алискеров М.Р.</i> О некоторых гуманитарных аспектах информационной безопасности	240
<i>Данилова О.Ю., Телкова С.А.</i> Использование модификаций сети Фейстеля в современных криптоалгоритмах	243
<i>Мелешко А.В., Десницкий В.А.</i> Анализ применимости технологии блокчейн для обнаружения атак в самоорганизующихся децентрализованных беспроводных сенсорных сетях	246
<i>Кузнецов М.Д.</i> Методы автоматизированного аннотирования политик безопасности для выявления аспектов обработки персональных данных	249
<i>Голубев С.А.</i> Выявление аномалий в сетевом трафике на основе свёрточных сетей	252
<i>Новикова Е.С.</i> О методологии проектирования систем, обрабатывающих персональные данные	255
<i>Горев А.И., Горева Е.Г.</i> Защита работы офиса: проблемы выбора	258
<i>Семенухин В.Н.</i> Неизменяемость данных	261
<i>Мироненко А.Н., Кудряшов Н.С.</i> Исследование и применение состязательных атак на алгоритмы машинного обучения	263
<i>Усов С.В.</i> Обзор описательного охвата иерархической модели безопасности ООHRU	265
<i>Вахний Т.В., Вахний С.В.</i> Определение стратегии администратора по противодействию хакерским атакам на основе поэтапного решения биматричной игры	268



РОМАНЬКОВ ВИТАЛИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
(12.02.1948 – 13.12.2023)

В 1971 г. Виталий Анатольевич с отличием окончил ММФ НГУ, в 1974 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию, а затем в 1978 г. принял приглашение М.И. Каргаполова и стал одним из участников первого «научного десанта», отправившегося в г. Омск для открытия Омского Комплексного отдела Института математики СО АН СССР. В 1992 г. защитил докторскую диссертацию по специальности 01.01.06 «Математическая логика, алгебра и теория чисел».

Виталий Анатольевич был признанным специалистом по направлению алгебраической криптографии и своими результатами внёс неоценимый вклад в развитие алгоритмической теории групп. Всю свою жизнь, и, в особенности, в последние годы, удивлял нас своими достижениями. Выделим решение проблемы Ольшанского-Микаэляна о вложениях в разрешимые группы (важнейший результат Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН за 2021 г.), решение проблемы о вхождении в подмоноид нильпотентных групп (важнейший результат Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН за 2023 г.), а также его результат по проблеме Поста для свободных групп (пленарный доклад в 2023 г. на конференции «Мальцевские чтения»).

Виталий Анатольевич был как блестящим специалистом по теории групп, так и человеком, чья страсть к математике вдохновляла многих. Виталий Анатольевич ценил красоту науки и всегда стремился к ней в своих работах.

Помимо своих научных заслуг В.А. Романьков был прекрасным наставником. Он всегда равнодушно обсуждал научные дела со своими коллегами, с готовностью делился своими знаниями с молодыми учёными, вдохновлял их к исследованиям.

В последние годы Виталий Анатольевич Романьков работал главным научным сотрудником лаборатории комбинаторных и вычислительных методов алгебры и логики Омского филиала Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН, профессором кафедры компьютерной математики и программного обеспечения факультета цифровых технологий и кибербезопасности ОмГУ.

В статье [1] представлены основные научные исследования, математическая жизнь и увлечения Виталия Анатольевича. Светлая память о Виталии Анатольевиче навсегда останется в наших сердцах.

Литература

1. Мясников А.Г., Ремесленников В.Н. О Виталии Романькове – человеке и математике в связи с его семидесятилетним юбилеем // Вестник Омского университета. 2018. Т. 23, № 2. С. 7–10.

А.В. Трейер

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

SPIN-код: 4044-1417

О НЕРАЗРЕШИМОСТИ ПРОБЛЕМЫ ВХОЖДЕНИЯ В ПОДМОНОИД В НИЛЬПОТЕНТНЫХ ГРУППАХ

Доклад посвящен обзору результатов д.ф.-м.н. профессора Виталия Анатольевича Романькова (1948–2023), связанных с известной алгоритмической проблемой для нильпотентных групп, а именно, проблемой вхождения в заданный подмоноид. Полученные результаты опубликованы в работах [1; 2] и были включены в список важнейших научных результатов ИМ СО РАН за 2023 год.

В докладе будет дан ответ на один из ключевых вопросов теории рациональных множеств в группах – вопрос М. Лори и Б. Стейнберга о разрешимости проблемы вхождения в подмоноид конечно порожденной нильпотентной группы. Вопрос стал рассматриваться в первые годы этого столетия, он явно сформулирован в известном обзоре [3]. Основным результатом является доказательство алгоритмической неразрешимости проблемы вхождения в фиксированный конечно порожденный подмоноид свободной нильпотентной группы степени 2 достаточно большого ранга и обобщение этого результата на свободные нильпотентные группы произвольной степени большей либо равной 3.

Доказательство основывается на неразрешимости десятой проблемы Гильберта. А именно, строится конечно порожденный подмоноид свободной нильпотентной группы степени 2 достаточно большого ранга r , проблема вхождения в который равносильна проблеме разрешимости неразрешимого класса диофантовых уравнений. Отсюда следует существование подмоноида с аналогичным свойством в любой свободной нильпотентной группе ранга больше чем r произвольной степени нильпотентности большей 2.

Проблему вхождения в подмоноид некоммутативной группы в настоящее время рассматривают как перенесение классической проблемы целочисленного линейного программирования, где фигурирует проблема вхождения в подмоноид свободной абелевой группы, на некоммутативную платформу. Возникло и развивается новое направление исследований – некоммутативная дискретная оптимизация [4]. При этом особое внимание уделяется классу конечно порожденных нильпотентных групп, как наиболее близкому к классу абелевых групп.

Литература

1. Романьков В.А. Неразрешимость проблемы вхождения в подмоноид свободной нильпотентной группы ступени ≥ 2 достаточно большого ранга // Известия Российской академии наук. Серия математическая. 2023. Т. 87, № 4. С. 166–185.
2. Roman'kov V.A. Positive elements and sufficient conditions for solvability of the submonoid membership problem for nilpotent groups of class two // Сибирские электронные математические известия (Siberian Electronic Mathematical Reports). 2022. Т. 87, № 1. С.387–403.
3. Lohrey M. The rational subset membership problem for groups: a survey // Groups St. Andrews 2013, London Math. Soc. Lecture Note Ser., vol. 422, Cambridge Univ. Press, Cambridge 2015, pp. 368–389.
4. Bassino F., Kapovich I., Lohrey M., Miasnikov A., Nicaud C., Nikolaev A., Rivin I., Shpilrain V., Ushakov A., Weil P. Complexity and randomness in group theory GAGTA book 1 // De Gruyter, Berlin 2020, xii+374.

УДК 512.54+510.67

Э.Ю. Даниярова¹, А.Г. Мясников²

¹*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Омский филиал,
г. Омск, Россия*

SPIN-код: 5646-1643

²*Stevens Institute of Technology, Hoboken NJ, USA*

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ТЕОРИЯ МЕТАБЕЛЕВЫХ НЕАБЕЛЕВЫХ ГРУПП БАУМСЛАГА–СОЛИТЕРА

Метабелевы группы Баумслага–Солитера задаются следующим представлением: $BS(1,k) = \langle a, b \mid b^{-1}ab = a^k \rangle$, где $k > 1$. Теоретико-модельные свойства метабелевых групп Баумслага–Солитера исследованы достаточно подробно. Г.А. Носков доказал, что элементарная теория $Th(BS(1,k))$ неразрешима [1]. При этом проблема типа Тарского для групп $BS(1,k)$, $k > 1$, не была решена.

Напомним, что проблема типа Тарского для группы G – это задача алгебраического описания групп, элементарно эквивалентных группе G , то есть всех моделей элементарной теории $Th(G)$.

Группа Баумслага–Солитера $BS(1,k)$ является счётной с арифметической таблицей умножения, она изоморфна полупрямому произведению абелевых групп $Z[1/k]$ и Z . По этой причине для $BS(1,k)$ можно строить так называемые нестандартные модели, заменяя кольцо Z на нестандартные модели Z , то есть на всевозможные элементарно эквивалентные Z кольца. Нестандартные модели группы $BS(1,k)$ имеют понятную алгебраическую структуру по модулю нестандартных моделей кольца Z , каковые, в свою очередь, хорошо описаны. Если Z_1 – это нестандартная модель Z , то соответствующая ей нестандартная модель

группы $BS(1,k)$ есть полупрямое произведение абелевых групп $Z_1[1/k^Z]$ и Z_1 .

Мы показываем, что нестандартными моделями группы $BS(1,k)$ исчерпываются все модели элементарной теории $Th(BS(1,k))$, то есть любая группа, элементарно эквивалентная группе $BS(1,k)$, является её нестандартной моделью, и наоборот, любая нестандартная модель группы $BS(1,k)$ элементарно ей эквивалентна. При этом каждой нестандартной модели арифметики Z_1 соответствует единственная нестандартная модель G_1 группы $BS(1,k)$, причём нестандартные модели G_1 и G_2 изоморфны тогда и только тогда, когда изоморфны соответствующие кольца Z_1 и Z_2 .

Этот результат является следствием другого важного факта, установленного авторами, а именно: неабелева метабелева группа Баумслага–Солитера $BS(1,k)$ регулярно биинтерпретируема с кольцом целых чисел Z . Биинтерпретируемость $BS(1,k)$ и Z с параметрами была установлена раньше в набросках А. Келифа и книге [2]. При этом регулярная биинтерпретируемость алгебраических систем является гораздо более сильным свойством, чем биинтерпретируемость с параметрами. Первая позволяет извлечь больше важных следствий, среди которых описание элементарной теории одной алгебраической системы через элементарную теорию второй алгебраической системы.

Кроме этого, нами установлен так называемый сильный вариант биинтерпретируемости между $BS(1,k)$ и Z , который также имеет свои интересные следствия, описания которых войдут в последующие статьи авторов по данной тематике.

Литература

1. Носков Г.А. Об элементарной теории конечно порожденной почти разрешимой группы // Изв. Акад. наук СССР. Сер. Матем., 1983. Т. 47, № 3. С. 498–517.
2. Kharlampovich O., Myasnikov A., Sohrabi M. Rich groups, weak second-order logic, and applications, Groups and Model Theory: GAFTA Book 2, 2001, pp. 127–192.

О.А. Велько¹, М.В. Мартон²

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

¹SPIN-код: 9921-7557; ²SPIN-код: 3622-1157

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИРОДЫ И ОБЩЕСТВА С ПОМОЩЬЮ ГРАФОВ

Графы широко используются в различных областях науки и повседневной жизни: в химии, биологии, физике, географии, строительстве, электротехнике, менеджменте, логистике, машиностроении, истории, программировании, автоматизации технологических процессов и производств, рекламе и т. д. для описания структур, категорий, строений, характеристик и функций различных процессов и явлений природы и общества. Графы также находят применение в социологии, антропологии, экономике, теории коммуникаций, социальной психологии и многих других сферах, где анализируются социальные сети. Элементы социальной структуры (люди, сообщества, группы) представляются в виде узлов графа, а отношения между ними (организационные, экономические зависимости, уровни принятия решений, коммуникации) представляются в виде рёбер, соединяющих вершины графа.

Графы являются инструментом моделирования процессов природы и общества. В основе решения многих прикладных социально–гуманитарных задач лежат методы математического моделирования. Приведем некоторые примеры.

Неориентированные графы могут быть использованы для изображения симметричных (двусторонних) отношений между объектами, например, отношения сотрудничества или в данном примере был построен так называемый граф интересов, который является онлайн представлением интересов любого человека, полученным на основе его активности в социальных сетях. Вершинами графа являются увлечения личности, также вершиной может быть профиль человека в социальной сети, ребра графа отображают взаимоотношения между вершинами графа. Таким обра-

зом, граф интересов помогает выяснить, чем человек интересуется, что покупает или хочет купить, куда и с кем хочет пойти, за чьими сообщениями в социальных сетях следит и т. д. [1]

Ориентированные графы удобны для изображения несимметричных (т. е. могущих быть односторонними) отношений. Например, любви, зависти, заботы, подчиненности. Рассмотрим такой вид романтических взаимоотношений между тремя людьми как «любовный треугольник». Известно, что этот термин означает, что первый человек увлечен вторым, которому он безразличен, а второй увлечён третьим, которому безразличен второй, но он не равнодушен к первому.

Ориентированные графы могут быть использованы для изображения отношения порядка. Если $x > y$, то мы соединяем x и y ребром, идущим в направлении от x к y , а если x и y несравнимы, то ребра между ними нет. Таким образом, любые две вершины либо соединены ребром лишь в одном направлении, либо не соединены вовсе.

Древовидным графом может быть описана любая строго иерархическая система. Например, модель управления предприятием, каталог файлов на диске, библиотечный каталог, система административной подчиненности.

Вероятностные графы нашли практическое применение во всех областях, где нужно моделировать сложные сети.

Существует такое понятие как химический граф. Химические графы дают возможность прогнозировать химические превращения, пояснять сущность и систематизировать некоторые основные понятия химии: структуру, конфигурацию, конфигурации, квантовомеханическую и статистико-механическую взаимодействия молекул, изомерию и др. К химическим графам относятся молекулярные, двудольные и сигнальные графы кинетических уравнений реакций. Молекулярный граф – это неориентированный граф, находящийся во взаимно-однозначном соответствии со структурной формулой химического соединения таким образом, что вершинам графа соответствуют атомы молекулы, а рёбрам графа – химические связи между этими атомами [2, с. 17].

С помощью графов изображаются схемы железных и автомобильных дорог, движения самолётов, газопроводов, тепло- и

электросети, производится математическое моделирование транспортных потоков. Например, схему минского метрополитена можно рассматривать как граф. Вершины этого графа – станции метрополитена, ребра – проезды между станциями. В результате получаем ориентированный граф. Более того данный граф можно рассматривать как взвешенный, в качестве весов можно рассматривать: а) расстояние между вершинами; б) время, затраченное на путь от одной вершины до другой; в) пассажиропоток в часы пик. К этой же категории задач относятся и так называемые задачи о лабиринтах, происхождение которых относится к глубокой древности. Задача о прохождении лабиринта имеет практический интерес, поскольку устройство линий электропередач, канализации, сетей дорог, каналов и т. д. – все это более или менее сложные лабиринты [3, с. 221].

Деревья играют большую роль в биологической теории ветвящихся процессов. Размножение бактерий – одна из разновидностей ветвящихся процессов. Предположим, что через определенный промежуток времени каждая бактерия либо делится на две новые, либо погибает. Тогда для потомства одной бактерии получим двоичное дерево.

Например, в истории при помощи графа можно изобразить социальную структуру и основные категории населения Древнего Мира, всем хорошо известно такое понятие как генеалогическое дерево, которое также является графом.

В настоящее время анализ экономических, социальных, политических явлений и процессов, прогнозирование тенденций их развития невозможно представить без использования математических моделей. А графы 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 для социологов: учебно-методическое пособие. Минск: БГУ, 2020.

2. *Велько О.А.* Эвристическое занятие «Графы как инструмент моделирования процессов природы и общества» // Матэматыка. 2020. № 6. С. 12–20.
3. *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.

А.Г. Гутор¹, С.В. Тихонов²

*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь
¹SPIN-код: 4938-9438; ²SPIN-код: 2955-4364*

О КОРНЯХ МНОГОЧЛЕНОВ С КОЭФФИЦИЕНТАМИ В АЛГЕБРЕ ГАМИЛЬТОНОВЫХ КВАТЕРНИОНОВ

В данной работе рассмотрены примеры нахождения корней многочленов с коэффициентами в алгебре гамильтоновых кватернионов в нескольких специальных случаях. Приводятся некоторые наблюдения о сведении некоммутативного случая к коммутативному.

Будем рассматривать многочлены с коэффициентами в алгебре гамильтоновых кватернионов \mathbf{H} вида:

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

Напомним, что \mathbf{H} состоит из элементов вида $q = q_0 + iq_1 + jq_2 + kq_3$, где $q_i \in \mathbb{R}$, $i^2 = j^2 = k^2 = -1$, $ij = -ji = k$ [1, с. 27]. Некоторые необходимые понятия, связанные с \mathbf{H} : действительная часть q , $\operatorname{Re} q := q_0$; сопряжённый элемент к q , $\bar{q} := q_0 - iq_1 - jq_2 - kq_3$; норма q , $|q| = \sqrt{q\bar{q}} = \sqrt{\bar{q}q} = \sqrt{q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2}$. Для любого ненулевого элемента q можно рассмотреть обратный элемент $q^{-1} = \frac{\bar{q}}{|q|^2}$. \mathbf{H} является некоммутативной алгеброй с делением.

Для элементов \mathbf{H} также введём понятие *класса сопряжённости*. Элемент q' называется элементом из того же класса сопряжённости, что и q ($q \sim q'$), если существует $h \neq 0$, что $q' = hqh^{-1}$. \mathbf{H} разбивается на непересекающееся множество классов сопряжённости элементов. Класс сопряжённости элемента q будем обозначать $[q] = \{q' \in \mathbf{H} : q \sim q'\}$.

Многочлен, *сопряжённый* введённому многочлену $P(x)$:

$$\overline{P}(x) := \overline{a}_n x^n + \overline{a}_{n-1} x^{n-1} + \dots + \overline{a}_1 x + \overline{a}_0.$$

Приведём некоторые сведения, связанные с многочленами из $\mathbf{H}[x]$ [2, с. 261]. Известно, что любой унитарный ($a_n = 1$) многочлен $P(x)$ разлагается на линейные множители, т. е. существуют $x_1, \dots, x_n \in \mathbf{H}$ такие, что

$$P(x) = (x - x_n)(x - x_{n-1}) \dots (x - x_1),$$

где упорядоченную последовательность (x_1, \dots, x_n) будем называть *цепочкой многочлена* $P(x)$. Из данного разложения следует, что x_1 является корнем многочлена $P(x)$ [2, с. 262]. Известно, что корни многочлена $P(x)$ лежат не более чем в n классах сопряжённости, а также то, что любой корень лежит в одном классе сопряжённости с некоторым элементом x_i [2, с. 263]. Либо единственный элемент из данного класса сопряжённости является корнем многочлена, тогда корень называется *изолированным*, либо все элементы класса являются корнями, корень в этом случае называется *сферическим* [3, с. 3].

В приведённых обозначениях, если все классы $[x_k]$ различны, то $P(x)$ имеет в точности n корней, которые связаны с элементами цепочки x_k следующим образом [3, с. 4]:

$$\zeta_k = \overline{P}_k(x_k) x_k (\overline{P}_k(x_k))^{-1}; \quad k = 1, \dots, n,$$

где

$$P_k(x) := \begin{cases} 1, & k = 1 \\ (x - x_{k-1}) \dots (x - x_1), & \text{иначе.} \end{cases}$$

Пример. Рассмотрим многочлен $P(x) = (x - i)(x - i - 1) \times (x - i - 2)$. Все элементы цепочки $x_1 = i + 2$, $x_2 = i + 1$, $x_3 = i$ лежат в разных классах сопряжённости (элементы принадлежат одному классу тогда и только тогда, когда у них совпадают действительные части и нормы). Найдём его корни по формулам выше. $\zeta_1 = x_1 = i + 2$. Для ζ_2 найдём $P_2(x) = x - x_1 = x - i - 2$, $\overline{P}_2(x) = x + i - 2$, $\overline{P}_2(x_2) = 2i - 1$, $(\overline{P}_2(x_2))^{-1} = (2i - 1)^{-1} = \frac{-2i - 1}{5}$.

Тогда $\zeta_2 = (2i-1)(i+1) \frac{(-2i-1)}{5} = 1+i$. Для ζ_3 вычислим

$$P_3(x) = (x-x_2)(x-x_1) = (x-i-1)(x-i-2) = x^2 + (-3-2i)x + 1+3i,$$

$$\overline{P}_3(x) = x^2 + (-3+2i)x + 1-3i, \quad \overline{P}_3(x_3) = \overline{P}_3(i) = -2-6i,$$

$$(\overline{P}_3(x_3))^{-1} = \frac{-1+3i}{20}. \text{ Тогда } \zeta_3 = \overline{P}_3(x_3)x_3(\overline{P}_3(x_3))^{-1} = i.$$

Заметим, что корни данного многочлена совпали с элементами цепочки. Так происходит потому, что $i+2$, $i+1$, i коммутируют друг с другом, и можно считать, что коэффициенты многочлена $P(x)$ лежат в одном подполе алгебры \mathbf{H} , а именно, в поле $\mathbb{R}(i)$. Таким образом, для этого примера справедлива теория коммутативного случая. Также можно работать с многочленами с коэффициентами из подполей $\mathbb{R}(a)$, где $a \in \mathbf{H}$, $a \neq 0$. С произвольными же элементами цепочки корни многочлена могут иметь другой вид.

Пример. Рассмотрим теперь многочлен с элементами цепочки из одного класса сопряжённости: $P(x) = (x - \frac{1}{\sqrt{2}}i - \frac{1}{\sqrt{2}}j)(x-j)(x-i)$. Отсюда сразу видно, что элемент i является корнем. Чтобы выяснить, будет ли этот корень изолированным или сферическим, проверим, будет ли $j \in [i]$ корнем многочлена. В данном случае $P(j) = 2i + \sqrt{2}i - \sqrt{2}j \neq 0$, т. е. j , а значит и никакой другой элемент из класса $[i]$, кроме i , не является корнем $P(x)$. i – изолированный единственный корень $P(x)$. Итак, понятен порядок рассуждений в случае, когда элементы цепочки из одного класса: x_1 является корнем; далее проверяем, будет ли какой-либо другой элемент из этого класса корнем; если является, то корни – все элементы данного класса и только они, если нет, то x_1 – единственный корень.

Литература

1. Пирс Р. Ассоциативные алгебры. М.: Мир, 1986.

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.

G. Yang, M.N. Podoksenov¹

Vitebsk State University named after P.M. Masherov, Vitebsk, Belarus

¹SPIN-код: 5120-2532

SPECIAL THREE-DIMENSIONAL LIE ALGEBRA AND ITS GROUP OF AUTOISOMORPHISMS

Let the Euclidean or Lorentz scalar product be given in Lie algebra \mathcal{G} . A linear transformation $f: \mathcal{G} \rightarrow \mathcal{G}$ is called an *autoisomorphism* (an *autosimilarity*) if it is both an automorphism of the Lie algebra and an isometry (a similarity) with respect to a given scalar product. All autosimilarities of three-dimensional solvable Lie groups with respect to the Lorentz scalar product were found in [1].

According to the classification given in the review by J. Milnor [2], there are, up to isomorphism, 6 unimodular three-dimensional Lie algebras and an infinite family of non-unimodular ones. All non-unimodular three-dimensional Lie algebras are solvable and contain a two-dimensional commutative ideal \mathcal{L} , which is the unimodular kernel. Among them, a special case stands out: a Lie algebra in which there exists a vector $X \notin \mathcal{L}$, such that $\text{ad} X$ acts on \mathcal{L} , as an identity transformation. We will call such a Lie algebra special and denote it by \mathcal{S}_3 .

We set the task: find a matrix representation of the Lie algebra \mathcal{S}_3 and the corresponding connected simply connected Lie group S_3 , introduce coordinates in them and find formulas by which the exponential map and its inverse map act. We will also write down the left shift formulas in the Lie group S_3 , and in the Lie algebra \mathcal{S}_3 we will write down the formulas by which the one-parameter autoisometry group acts in the presence of a Euclidean scalar product.

In a suitable basis (E_1, E_2, E_3) the bracket operation in the Lie algebra \mathcal{S}_3 is given by the formulas $[E_1, E_2] = E_2$, $[E_1, E_3] = E_3$, $[E_2, E_3] = \vec{0}$. We managed to find that these requirements are satisfied by the linearly independent matrices

$$E_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, E_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, E_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Thus, the Lie algebra \mathcal{S}_3 can be represented as consisting of matrices of the form

$$U = \begin{pmatrix} 0 & 0 & u_1 & u_2 \\ 0 & u_1 & 0 & u_3 \\ u_1 & 0 & 0 & u_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, u_1, u_2, u_3 \in \mathbf{R}.$$

In the basis (E_1, E_2, E_3) this matrix has the coordinates (u_1, u_2, u_3) . Denote $X = \exp U$. Then

$$X = \begin{pmatrix} \operatorname{ch} x_1 & 0 & \operatorname{sh} x_1 & x_2 \\ 0 & e^{x_1} & 0 & x_3 \\ \operatorname{sh} x_1 & 0 & \operatorname{ch} x_1 & x_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

where

$$x_1 = u_1, x_2 = \frac{u_2}{u_1} (e^{u_1} - 1), x_3 = \frac{u_3}{u_1} (e^{u_1} - 1).$$

These are the formulas for the exponential mapping $\exp : \mathcal{S}_3 \rightarrow \mathcal{S}_3$. Formulas of the inverse mapping:

$$u_1 = x_1, u_2 = \frac{x_1 x_2}{(e^{x_1} - 1)}, u_3 = \frac{x_1 x_3}{(e^{x_1} - 1)}.$$

These formulas show that the Lie group is exponential and the mapping $\exp : \mathcal{S}_3 \rightarrow \mathcal{S}_3$ is a homeomorphism.

Group operation and inverse element:

$$(x_1, x_2, x_3) \cdot (y_1, y_2, y_3) = (x_1 + y_1, y_2 e^{x_1} + x_2, y_3 e^{x_1} + x_3),$$

$$(x_1, x_2, x_3)^{-1} = (-x_1, e^{-x_1} x_2, e^{-x_1} x_3).$$

Full group of automorphisms of the Lie algebra \mathcal{S}_3 in the basis (E_1, E_2, E_3) is defined by the matrix

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \alpha & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \beta & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{pmatrix}, \alpha, \beta \in \mathbf{R}, a_{22}a_{33} - a_{23}a_{32} \neq 0.$$

Thus, if the Euclidean scalar product is introduced in the Lie algebra \mathcal{S}_3 then we can always choose an orthonormal basis (E'_1, E'_2, E'_3) , in which the bracket operation is given by the formulas $[E'_1, E'_2] = kE'_3$, $[E'_1, E'_3] = kE'_2$, $[E'_2, E'_3] = \vec{0}$, $k > 0$. In this basis any one-parameter autoisometry group is given by a matrix of the form

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos at & -\sin at \\ 0 & \sin at & \cos at \end{pmatrix}, t \in \mathbf{R}, a \neq 0.$$

With respect to the Euclidean scalar product, the Lie algebra \mathcal{S}_3 does not admit self-similarity at all.

References

1. *Podoksenov M.N.* Homothetic automorphisms of three-dimensional Lie algebras // Academic notes of the "VSU named after P.M. Masherova". Collection of scientific works. Vol. 8. Vitebsk, VSU Publishing House, 2009. P. 203–211.
2. *Milnor J.* Curvatures of left-invariant metrics on Lie groups // Adv. Math. 1976. Vol. 21. P. 293–329.

M.V. Linkevich, M.N. Podoksenov¹*Vitebsk State University named after P.M. Masherov, Vitebsk, Belarus*¹SPIN-код: 5120-2532**SELF-SIMILAR LIE GROUP $\mathcal{E}(1,1)$**

Let the Euclidean or Lorentz scalar product be given in Lie algebra \mathcal{G} . A linear transformation $f: \mathcal{G} \rightarrow \mathcal{G}$ is called an *autosimilarity* if it is both an automorphism of the Lie algebra and a similarity with respect to a given scalar product. We will call a Lie algebra self-similar if it admits a one-parameter group of autosimilarities.

To construct a self-similar homogeneous Lorentz manifold of a Lie group equipped with a left-invariant Lorentz metric, we need to construct a one-parameter autosimilarity group of the corresponding Lie algebra equipped with a Lorentz scalar product [1].

All autosimilarities of three-dimensional solvable Lie groups with respect to the Lorentz scalar product were found in [2]. All such Lie algebras contain a two-dimensional commutative ideal \mathcal{L} , and the Lie algebra $\mathcal{E}(1,1)$ of the group $E(1,1)$ of motions of the Minkowski plane is one of them.

The basis in the Lie algebra $\mathcal{E}(1,1)$ used in [2] is not convenient for further calculations. In this work we will indicate the matrix representation of the Lie algebra $\mathcal{E}(1,1)$, find the formulas by which the exponential map and its inverse map act in suitable coordinates, find the matrix of the left shift differential in the Lie group $E(1,1)$, and find formulas by which the one-parameter self-similarity group of the Lie algebra $\mathcal{E}(1,1)$ acts in the same coordinates.

In a suitable basis (E_1, E_2, E_3) the bracket operation in the Lie algebra $\mathcal{E}(1,1)$ is given by the formulas $[E_1, E_2] = E_3$, $[E_1, E_3] = E_2$, $[E_2, E_3] = \vec{0}$. Basis vectors and Lie algebra in general have the following matrix representation:

$$E_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, E_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, E_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$U = \begin{pmatrix} 0 & u_1 & u_2 \\ u_1 & 0 & u_3 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$u_1, u_2, u_3 \in \mathbf{R}$. Denote $X = \exp U$. Then

$$X = \begin{pmatrix} \operatorname{ch} x_1 & \operatorname{sh} x_1 & x_2 \\ \operatorname{sh} x_1 & \operatorname{ch} x_1 & x_3 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

where

$$x_1 = u_1, \quad x_2 = \frac{u_2}{u_1} \operatorname{sh} u_1 + \frac{u_3}{u_1} (\operatorname{ch} u_1 - 1), \quad x_3 = \frac{u_3}{u_1} \operatorname{sh} u_1 + \frac{u_2}{u_1} (\operatorname{ch} u_1 - 1)$$

These are the formulas for the exponential mapping $\exp: \mathcal{E}(1, 1) \rightarrow SE(1, 1)$ ($SE(1, 1)$ is the connected component of the unit element). Formulas of the inverse mapping:

$$u_1 = x_1, \quad u_2 = \frac{x_1 x_2 \operatorname{sh} x_1}{2(\operatorname{ch} x_1 - 1)} - \frac{x_1 x_3}{2}, \quad u_3 = \frac{x_1 x_3 \operatorname{sh} x_1}{2(\operatorname{ch} x_1 - 1)} - \frac{x_1 x_2}{2}.$$

Group operation and the inverse element:

$$\begin{aligned} & (x_1, x_2, x_3) \cdot (y_1, y_2, y_3) = \\ & = (x_1 + y_1, x_2 + y_2 \operatorname{ch} x_1 + y_3 \operatorname{sh} x_1, x_3 + y_3 \operatorname{ch} x_1 + y_2 \operatorname{sh} x_1), \\ & (x_1, x_2, x_3)^{-1} = (-x_1, x_3 \operatorname{sh} x_1 - x_2 \operatorname{ch} x_1, x_2 \operatorname{sh} x_1 - x_3 \operatorname{ch} x_1). \end{aligned}$$

Thus, the matrix of the differential of the left shift by element $X(x_1, x_2, x_3)$

$$L_X = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \operatorname{ch} x_1 & \operatorname{sh} x_1 \\ 0 & \operatorname{sh} x_1 & \operatorname{ch} x_1 \end{pmatrix}$$

is constant, i.e. does not depend on the element $Y(y_1, y_2, y_3)$.

Any basis (V_1, V_2, V_3) , in which the bracket operation is given by the equalities $[V_1, V_2] = -V_2$, $[V_1, V_3] = V_3$, $[V_2, V_3] = \bar{0}$ will be

called canonical. This could be the basis $V_1 = E_1$, $V_2 = E_2 - E_3$, $V_3 = E_2 + E_3$. The subspaces $I_1 = \mathbf{R}V_1$, $I_2 = \mathbf{R}V_2$ are one-dimensional ideals. In a suitable canonical basis, the one-parameter autosimilarity group acts by the formulas ([2]):

$$V'_1 = V_1, V'_2 = e^{\mu t}V_2, V'_3 = e^{2\mu t}V_3, \mu > 0,$$

provided that the Gram matrix of this basis has the form:

$$\Gamma = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Unfortunately, in the canonical basis the formulas for the exponential mapping and its inverse mapping look more complicated. That is why we calculated the Gram matrix and the matrix of the one-parameter autosimilarity group in the basis (E_1, E_2, E_3) :

$$\Gamma' = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \end{pmatrix}, [F(t)]' = e^{3vt} \begin{pmatrix} e^{-3vt} & 0 & 0 \\ 0 & \operatorname{ch}vt & \operatorname{sh}vt \\ 0 & \operatorname{sh}vt & \operatorname{ch}vt \end{pmatrix}, \mu = 2v.$$

Knowing these matrices and the formulas by which the exponential map and its inverse map operate, makes it possible to construct a self-similar Lorentzian manifold of the Lie group $SE(1,1)$, equipped with a left-invariant Lorentzian metric. This is our immediate goal.

References

1. *Podoksenov M.N.* Similarities and isometries of a homogeneous manifold of the Heisenberg group equipped with a left-invariant Lorentzian metric // Bulletin of Vitebsk State University. 2011. No 5. P. 10–15.
2. *Podoksenov M.N.* Homothetic automorphisms of three-dimensional Lie algebras // Academic notes of the "VSU named after P.M. Masherova". Collection of scientific works. Vol. 8. Vitebsk, VSU Publishing House, 2009. P. 203–211.

Ю.В. Трубников¹, М.М. Чернявский²

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

¹SPIN-код: 1683-7298; ²SPIN-код: 9373-5110

О ПОЛУЧЕНИИ РАЦИОНАЛЬНЫХ ФОРМУЛ ДЛЯ КРАТНЫХ КОРНЕЙ ПОЛИНОМОВ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РЕЗУЛЬТАНТОВ

Направление получения точных рациональных формул для вычисления кратных корней полиномов практически не освещено в математической литературе, но в настоящее время активно развивается благодаря возможностям систем компьютерной алгебры. В частности, актуальным источником для получения требуемых рациональных выражений является анализ структур частных производных различных порядков от некоторых результатов, например, рассмотренных ранее в работах [1] и [2] авторов настоящего доклада.

В настоящей работе рассмотрена идея получения компактных рациональных выражений для вычисления кратного корня кратности на единицу меньшей, чем степень алгебраического полинома, без использования конструкций результатов.

Для начала рассмотрим кубическое приведенное алгебраическое уравнение с комплексными коэффициентами, имеющее кратный корень:

$$x^3 + px + q = (x - x_1)^2 (x - x_3) = 0.$$

Пусть x_1 – корень кратности два, тогда он будет корнем первой производной рассматриваемого трехчлена, то есть $3x_1^2 + p = 0$, откуда $x_1^2 = -p/3$. Одновременно рассмотрим соотношения Виета:

$$-2x_1 - x_3 = 0, \quad x_1^2 + 2x_1x_3 = p, \quad -x_1^2x_3 = q.$$

Тогда из третьего соотношения Виета находим $x_3 = 3q/p$, а затем из первого соотношения непосредственно получаем требуемый результат

$$x_1 = -\frac{x_3}{2} = -\frac{3q}{2p}.$$

Далее пусть $f(z)$ – полином четвертой степени

$$f(z) = z^4 + a_1 z^3 + a_2 z^2 + a_3 z + a_4$$

со следующей мультипликативной структурой $f(z) = (z - z_1)^3 (z - z_4)$ ($z_4 \neq z_1$).

Тогда его производная по z имеет кратный корень кратности 2 и другой, ему не равный.

Далее выражение

$$\frac{1}{4} \frac{df}{dz} = z^3 + \frac{3}{4} a_1 z^2 + \frac{1}{2} a_2 z + \frac{1}{4} a_3$$

приводится подстановкой $z = x - \frac{a_1}{4}$ к виду $x^3 + px + q = 0$, где

$$p = -\frac{3a_1^2}{16} + \frac{a_2}{2}, \quad q = \frac{a_1^3}{32} - \frac{a_1 a_2}{8} + \frac{a_3}{4}.$$

И тогда кратный корень $x_1 = -\frac{3q}{2p} = \frac{3(a_1^3 - 4a_1 a_2 + 8a_3)}{4(3a_1^2 - 8a_2)}$, а

искомый кратный корень $z_1 = x_1 - \frac{a_1}{4} = \frac{6a_3 - a_1 a_2}{3a_1^2 - 8a_2}$.

Далее, пусть $f(z) = z^5 + a_1 z^4 + a_2 z^3 + a_3 z^2 + a_4 z + a_5$ с мультипликативной структурой $f(z) = (z - z_1)^4 (z - z_5)$, ($z_5 \neq z_1$).

Тогда имеют место формула для корня z_1 :

$$z_1 = \frac{5a_3 - a_1 a_2}{4a_1^2 - 10a_2}.$$

Полученные результаты можно распространить на общий случай структуры $f(z) = (z - z_1)^{n-1} (z - z_n)$; $n = 6, 7, \dots$

Литература

1. *Чернявский М.М., Трубников Ю.В.* Модификация формул Эйткена и алгоритмы аналитического нахождения кратных корней полиномов // *Вісник Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта.* 2021. № 1(110). С. 13–25.
2. *Трубников Ю.В., Чернявский М.М.* Свойства структур частных производных от результата многочлена со своей производной при наличии кратных корней [Электронный ресурс] // *Математическое и компьютерное моделирование: сб. матер. X Междунар. науч. конф. (Омск, 10 февр. 2023 г.). Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2023. С. 42–44. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).*

А.Н. Рыбалов

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

О СЛОЖНОСТИ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ НАД ГРАФАМИ

Решение уравнений и систем уравнений над вещественными, комплексными, рациональными, целыми числами является классической темой исследований в различных областях математики в течение уже нескольких тысяч лет. В XX веке появились новые направления исследований, в рамках которых изучаются и решаются системы уравнений над алгебраическими системами, отличными от классических.

Важнейшими объектами исследований в дискретной математике и информатике являются графы. В [1] было доказано, что проблема определения разрешимости (совместности) систем уравнений над конечными графами является NP-полной. При этом и система и граф варьируются и являются частью входа. В [2] была доказана NP-полнота проблемы совместности систем уравнений без констант над фиксированным конечным полным p -дольным графом при $p > 2$ и ее полиномиальная разрешимость при $p < 3$.

В данной работе была исследована проблема определения совместности систем уравнений без констант над произвольным конечным графом G . При этом граф фиксирован, а входом является произвольная система уравнений в языке графов без констант. Доказан следующий критерий NP-полноты и полиномиальной разрешимости этой проблемы.

Теорема. Пусть G – фиксированный конечный граф с хроматическим числом m . Тогда если $m < 3$, то проблема проверки совместности систем уравнений над G разрешима за полиномиальное время, иначе эта проблема NP-полна.

Литература

1. *Ильев А.В., Ильев В.П.* Алгоритмы решения систем уравнений над различными классами конечных графов // Прикладная дискретная математика. 2021. № 53. С. 89–102.
2. *Ильев А.В.* Исследование систем уравнений над различными классами конечных матроидов // Сибирские электронные математические известия. 2022. Т. 19, № 2. С. 1094–1102.

И.М. Бучинский

*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Омский филиал,
г. Омск, Россия
SPIN-код: 9130-0278*

БУЛЕВЫ ГРАФЫ*

Ранее в работе [1] был введен оператор замыкания cl на вершинах простого графа Γ . На основе этого оператора была определена решетка замкнутых подмножеств $L(\Gamma)$ графа Γ , которая занимает важное место в теории частично коммутативных групп.

Позже в [2] были описаны все конечные графы, каждое подмножество вершин которых замкнуто относительно оператора cl , была показана ультраоднородность таких графов. Несложным образом все эти результаты можно расширить и на случай бесконечных графов.

В докладе мы представим описание класса булевых графов на языке минимальных препятствий: «пустого треугольника», «дополнения цепи длины два» и, в случае конечного $2n$ -вершинного булева графа, полного графа на $n + 1$ вершинах.

С другой стороны, из результатов [3] известно, что бесконечный булев граф не обладает свойством нетеровости по уравнениям – важным в универсальной алгебраической геометрии [4]. Более того, мы покажем, что он не является ни q_ω -компактным, ни слабо нетеровым по уравнениям (обобщения нетеровости по уравнениям). С помощью структуры булева графа мы также покажем, по аналогии с [5], неаксиоматизируемость всех этих свойств формулами логики первого порядка в категориях простых графов и графов с петлями.

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИМ СО РАН, проект FWNF-2022- 0003.

Литература

1. *Duncan A.J., Kazachkov I.V., Remeslennikov V.N.* Orthogonal systems in finite graphs // Сиб. электрон. матем. изв. 2008. Т. 5. С. 151–176.
2. *Бучинский И.М.* Булев граф и его свойства // ФМХ ОмГУ 2021: сборник статей IX региональной конференции магистрантов, аспирантов и молодых ученых по физике, математике и химии (Омск, 7 июня – 19 июня 2021 г.). С. 16–19.
3. *Бучинский И.М., Трейер А.В.* О графах, не являющихся нетеровыми по уравнениям // Сиб. электрон. матем. изв. 2023. Т. 21, № 2. С. 580–587.
4. *Даниярова Э.Ю., Мясников А.Г., Ремесленников В.Н.* Алгебраическая геометрия над алгебраическими системами. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2016, 243 с.
5. *Buchinskiy I.M., Treier A.V.* On first order definability of equationally noetherian graphs // J. Phys.: Conf. Ser. 2021. 1901 012032. 5 p.

Ю.В. Захарова¹, А.О. Захаров²

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

¹SPIN-код: 2346-8377; ²SPIN-код: 4418-7169

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОЖЕСТВА ПАРЕТО ДВУХКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЗАКАЗОВ КЛИЕНТОВ*

Рассматривается следующая задача составления расписаний [1; 2]. Имеется множество клиентов $M = \{1, \dots, m\}$ с заказами по продуктам из множества $P = \{1, \dots, n\}$. У каждого клиента есть только один заказ. Потребность клиента $i \in M$ в продукте $p \in P$ составляет q_{ip} . Все продукты выпускаются на одной производственной линии последовательно. При переключении линии с продукта $p \in P$ на продукт $p' \in P$ требуется переналадка длительностью $s_{pp'}$. Также требуется начальная настройка производственной линии на продукт $p \in P$, составляющая s'_p единиц времени. Каждый клиент $i \in M$ характеризуется директивным сроком своего заказа d_i и коэффициентом важности w_i (вес). Задача исследуется с двумя критериями: f_1 – сумма моментов завершения (на минимум) и f_2 – суммарный вес заказов, выполненных в срок (на максимум). Решением двухкритериальной задачи будем считать множество Парето, то есть $Y = \{(y_1, y_2) : \neg \exists (y_1^*, y_2^*) \neq (y_1, y_2) \ y_1^* \leq y_1 \ \& \ y_2^* \geq y_2\}$.

В настоящей работе проводится исследование семейств примеров рассматриваемой задачи с различной структурой мно-

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

жества Парето. Для сужения множества Парето применяется аксиоматический подход, предложенный В.Д. Ногиним [3]. Проводится анализ сужения множества Парето для различных структур при задании одного или двух квантов информации о предпочтениях лица, принимающего решение [2; 3]. Изучается вопрос обобщения подхода на случай произвольного числа производственных линий.

Литература

1. *Erel E., Ghosh J.B.* Customer order scheduling on a single machine with family setup times: Complexity and algorithms. 2007. Applied Mathematics and Computation. Vol. 185. No. 1. P. 11–18.
2. *Kovalenko Y.V., Zakharov A.O.* The Pareto set reduction in bicriteria customer order scheduling on a single machine with setup times. 2020. J. Phys.: Conf. Ser. Vol. 1546. 7 p.
3. *Noghin V.D.* Reduction of the Pareto Set: An Axiomatic Approach. 2018. Springer International Publishing.

Т.В. Леванова

*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Омский филиал,
г. Омск, Россия
SPIN-код: 5465-0869*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОСВЯЗИ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛАНДШАФТА

В связи с развитием службы спасения, экстренной медицины, туризма и пр. встал вопрос об усовершенствовании системы радиосвязи. Экстренные службы (далее потребители) передвигаются в выбранном регионе часто по сложным индивидуальным маршрутам. Организация радиосвязи в таких условиях особенно актуальна и заставляет учитывать ландшафт рассматриваемого региона.

В данной работе среди различных проблем, связанных с организацией радиосвязи, рассматривается вопрос размещения радиовышек и оборудования. От расположения вышки и выбора используемого оборудования зависит объем финансовых затрат, дальность распространения сигнала, доступность вышки для ремонта и др. Проблема состоит в выборе мест размещения радиовышек и вида оборудования так, чтобы в любой точке маршрута потребитель был обеспечен сигналом, и затраты на организацию связи были наименьшими. В такой формулировке проблему организации радиосвязи можно отнести к задачам оптимального размещения предприятий. Подобные задачи имеют широкий круг приложений и занимают отдельную область исследований (см., напр. [1–3]). Для использования методов дискретной оптимизации маршрут представляется в виде дискретного множества точек. Данному множеству сопоставляются две матрицы: возможного размещения радиовышек и местоположений потребителя. С их помощью учитываются особенности ландшафта. Если в точке может находиться вышка или потребитель, то соответствующие

элементы матриц равны 1, иначе они принимают значение 0. Построена математическая модель рассматриваемой задачи, затем предложен её вариант с меньшим количеством переменных. Получившуюся модель можно отнести к математическим моделям вариантных дискретных задач размещения и использовать современные методы, реализуемые в этой области ([1; 3] и др).

Литература

1. Колоколов А.А., Леванова Т.В., Позняков Ю.С. Алгоритмы искусственной иммунной системы для вариантной задачи размещения телекоммуникационных центров // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Математика. 2013. Т. 6, № 1. С. 35–44.
2. *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.
3. Дискретные задачи оптимального размещения. Библиотека тестовых примеров. URL: <http://old.math.nsc.ru/AP/benchmarks/index.html> (дата обращения: 09.01.2024).

УДК 519.237.8 : 519.87

И.Г. Яр-Мухамедов

*Институт машиноведения и автоматики Национальной академии наук
Кыргызской республики, г. Бишкек, Кыргызстан*

МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОЙ КЛАСТЕРНОЙ СТРУКТУРЫ

Кластерный анализ является одним из действенных формальных средств классификации объектов, описываемых множеством признаков, сжатия информации, и, в определенной мере, обобщения.

Задача кластерного анализа заключается в таком формировании совокупностей групп объектов, при котором: расстояния между объектами одного кластера минимальны; расстояния между объектами разных кластеров максимальны; количество кластеров существенно меньше количества объектов [1].

Специфика методов кластерного анализа [2] такова, что они, как правило, требуют задания дополнительной информации, например, в виде количества кластеров или радиуса кластера, либо участия человека для принятия решения о степени оптимальности кластерной структуры. Это связано с тем, что определение кластера или кластерной структуры, фактически приведенное выше, недоопределено.

Другая особенность в том, что методы являются эвристическими и позволяют находить лишь субоптимальные решения, качество которых не всегда может быть оценено.

Одним из путей решения проблем кластерного анализа является формализация содержательного определения кластерной структуры и придание ей формы, позволяющей находить реше-

ния, доставляющие глобальный экстремум целевой функции. Модель целочисленного линейного программирования [3; 4] является одним из возможных вариантов.

Система функциональных ограничений содержит ограничения двух типов.

1. Каждый из объектов принадлежит лишь одному из кластеров:

$$\sum_{k=1}^m X_i^k = 1, \quad i = \overline{1, n}.$$

Здесь: k – индекс кластера; m – количество кластеров; i – индекс объекта; n – количество объектов; X_i^k – логическая переменная, единичное значение которой означает, что объект с индексом i отнесен к кластеру с индексом k .

2. Определение пар объектов для расчета внутрикластерных расстояний:

$$X_{ij} = (X_i^k + X_j^k) / 2, \quad k = \overline{1, m}, \quad i = \overline{1, n-1}, \quad j = \overline{i+1, n}.$$

Здесь: X_{ij} – логическая переменная, единичное значение которой означает, что объекты i и j принадлежат одному кластеру.

Параметрические ограничения на значения искомым переменных:

$$X_i^k \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, m};$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, n-1}, \quad j = \overline{i+1, n}.$$

Целевая функция, имеющая смысл суммы внутрикластерных расстояний:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n X_{ij} d_{ij} \rightarrow \min.$$

Здесь: d_{ij} – расстояние между объектами с индексами i и j .

В модели использованы меры расстояния, но с таким же успехом могут быть использованы и меры сходства, при соответствующей модификации модели.

В некоторых случаях, возможно, имеет смысл формулировать задачу, используя «оборотную» сторону определения кластера, а именно, максимизируя сумму межкластерных расстояний.

Для проверки линейной модели кластерной структуры был написан скрипт для математического пакета GNU Octave [5].

К несомненным достоинствам предложенного формального варианта кластерной модели является возможность получения решения, соответствующего глобальному оптимуму целевой функции.

Предложенный подход не лишен и недостатков. Он описывает все возможные варианты структур и поэтому отличается громоздкостью. Если некоторые из традиционных методов позволяют решать задачи для десятков тысяч объектов, то задача целочисленного линейного программирования может быть решена максимум для нескольких сотен объектов.

Литература

1. *Мандель И.Д.* Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1988. 176 с.
2. *Дюран Б. Оделл П.* Кластерный анализ. М.: Статистика, 1977. 128 с.
3. *Данциг Дж.* Линейное программирование, его применения и обобщения. М.: Прогресс, 1966. 600 с.
4. *Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г.* Задачи и методы линейного программирования. М.: Советское радио, 1961. 492 с.
5. *Yar-Mukhamedov I.G.* Experimental code for testing a linear model of cluster structure. Bishkek, 2024. 3 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.26100.53126.

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

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭРЖ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Грамотное решение многих практических задач, связанных с оптимизацией применения реологически сложных жидкостей, требует знания их теплофизических свойств, в том числе коэффициента теплопроводности.

В лаборатории реофизики и макрокинетики Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова проводились эксперименты по исследованию поведения коэффициента теплопроводности электрореологических жидкостей (ЭРЖ) на основе сложных оксидов перовскитоподобного типа при изменении температуры в диапазоне 20–40 °С и величины электрического поля от 0 до 1,5 кВ/мм.

Установлено, что при возрастании напряженности электрического поля E происходит увеличение теплопроводности, а с ростом температуры коэффициент теплопроводности λ уменьшается. Такое поведение обусловлено снижением вязкости дисперсионной среды, увеличением интенсивности теплового движения и, соответственно, снижением прочности контактов между частицами.

Для получения аналитической зависимости коэффициента теплопроводности λ синтезированных ЭРЖ от изменений температуры T и напряженности электрического поля E был проведен математический анализ экспериментальных данных и построена математическая модель поведения $\lambda(E, T)$ при изменении внешних воздействий. Эта модель дает возможность имитировать процесс применения электрореологической жидкости и спрогнозировать ее поведение в конкретных обстоятельствах.

Построение зависимости коэффициента теплопроводности ЭРЖ от значений внешних электрического и температурного полей базировалось на применение встроенных функций математического пакета MathCad. Так как влияние напряженности электрического поля и температуры на коэффициент теплопроводности изучались в отдельных экспериментах, то первоначально были найдены зависимости $\lambda(E)$ и $\lambda(T)$. Оптимальным вариантом аппроксимации поведения $\lambda(E)$ выбрана степенная модель, как результат применения функции *pwrfit*, а для $\lambda(T)$ – линейная аппроксимация, коэффициенты которой найдены применением функции *line*.

Поведение $\lambda(E)$ для образца исследуемой ЭРЖ с 20 вес.% $\text{Sr}_9\text{Ni}_{4,2}\text{Al}_{2,8}\text{O}_{21}$, в качестве наполнителя показано на графике (рис. 1).

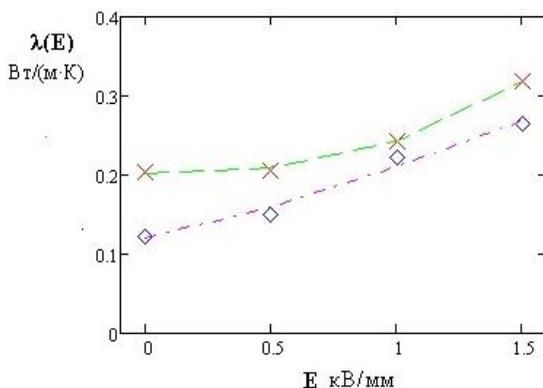


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности ЭРЖ от напряженности электрического поля E.
 Данные эксперимента и линии регрессии:
 ✕, ◇ – при температуре 20 °C и 40 °C соответственно

Технология применения методов математического моделирования позволяет утверждать, что если кривые на графике (рис. 1) не параллельны, то это означает, что ход зависимости от одной переменной определяется значением другой переменной. Семейство кривых в этом случае следует описывать уравнением вида

$$\lambda(E, T) = \lambda(E) + \lambda(T) + \lambda(E)\lambda(T) + const \quad (1)$$

В результате получили модель поведения коэффициента теплопроводности при изменении внешних полей в следующем виде

$$\lambda(E, T) = 0.002 \cdot T \cdot E^{(0.132 \cdot T \cdot const)} + 0.284const \quad (2)$$

При температуре 20 °С параметр $const = 1$, а при 40 °С $const = 0,625$.

Рис. 2 отображает данные эксперимента и моделирования.

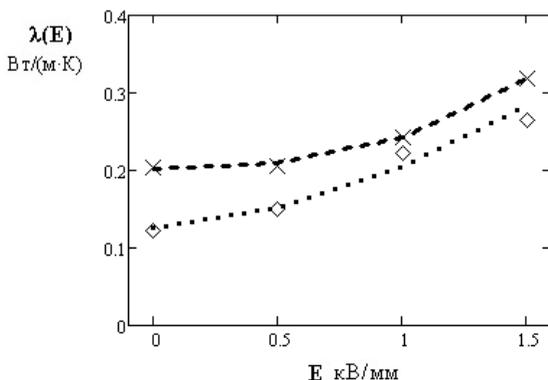


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности ЭРЖ от напряженности электрического поля E при температуре 20 и 40 °С. Экспериментальные данные и линии модели (2)

Таким образом, проведенные исследования поведения коэффициента теплопроводности ЭРЖ показали характер его зависимости от температуры и значений внешнего электрического поля. Построена математическая модель для описания этой зависимости. Погрешность аппроксимации меньше 6 %, что свидетельствует о хорошем совпадении теории и эксперимента.

Л.В. Маркова, Н.А. Журавский¹, Е.В. Коробко, Л.В. Радкевич

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

¹SPIN-код: 4573-2310

МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ

Технология создания новых реологических материалов, физические свойства которых можно целенаправленно изменять с помощью внешних физических полей, имеет особую значимость в современном мире. Моделирование количественных взаимосвязей, связанных со структурой материалов и их различными механическими и теплофизическими свойствами, не только важны с научной точки зрения, но и имеют решающее значение для развития перспектив управления материалами различных технических устройств и оборудования в современных отраслях приборостроения и промышленности в целом.

В лаборатории реофизики и макрокинетики Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси проводились исследования влияния состава магнитореологических жидкостей (МРЖ) на их реологические свойства в магнитном поле. МРЖ представляет собой двухкомпонентную жидкотекучую дисперсию частиц карбонильного железа в синтетическом масле.

На ротационном вискозиметре НААКЕ RV 12 с измерительной ячейкой типа пластина – пластина, оснащенном индуктором магнитного поля, определены кривые течения (зависимости напряжения сдвига τ от скорости сдвига $\dot{\gamma}$) составов МРЖ с 20, 30 и 40 объемных % карбонильного железа в диапазоне напряженностей магнитного поля H 50–500 кА/м.

Поиск функциональной зависимости напряжения сдвига МРЖ от изменений значений внешних и внутренних факторов проводился на основе регрессионного анализа и метода наименьших квадратов. Непосредственное сочетание математического

моделирования с вычислительным и физическим экспериментами позволило получить модель поведения различных по составу МРЖ, т.е. зависимость напряжения сдвига от концентрации дисперсной среды при изменяющихся воздействиях внешнего магнитного поля и возрастании скорости сдвига. На рис. 1 представлена модель поведения исследованных составов МРЖ при скоростях сдвига $\gamma = 0,01; 1,05$ и $134,0 \text{ с}^{-1}$.

Аналитически модель имеет вид

$$\tau = \tau_0 + F(C, H, \gamma),$$

где τ – напряжение сдвига, τ_0 – динамический предел текучести, H – напряженность магнитного поля, C – концентрация, γ – скорость сдвига. Установлено, что для всех исследуемых образцов $\tau_0 = 10^4 \text{ кПа}$.

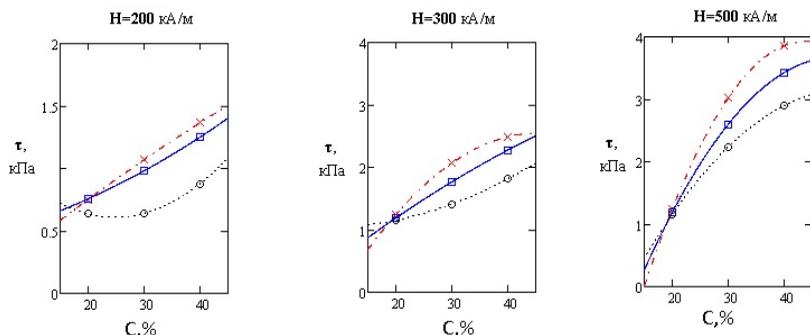


Рис. 1. Модель реологического поведения МРЖ в магнитном поле.

Данные эксперимента отображены дискретными символами:

\times , \square , \circ , при скоростях сдвига $\gamma = 0,01; 1,05$ и $134,0 \text{ с}^{-1}$ соответственно

Функция F является параболой, на значение коэффициентов которой влияют изменения напряженности магнитного поля и скорости сдвига.

Таким образом, в результате исследований получена модель состояния магнитореологической жидкости. Эта модель дает представление о параметрах, влияющих на реологические свойства МРЖ, тем самым обеспечивая возможность эффективных и целенаправленных исследований по проектированию и созданию новых составов таких жидкостей.

М.В. Мартон

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

СВЯЗЬ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УНИВЕРСИТЕТСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ХИМИКОВ

Согласитесь с тем, что сегодня деятельность будущего химика немыслима без использования компьютера, применения основ информационных технологий и математической базы. В сегодняшних условиях глобальной информатизации общества конкурентоспособность выпускников современного вуза в значительной степени определяется их уровнем владения информационными технологиями и компьютерными средствами при решении профессиональных задач. Анализ физико-химических явлений и процессов в настоящее время невозможно представить без использования математических и компьютерных моделей, применения вычислительной техники для осуществления расчетов и визуализации изучаемых объектов. Математика и основы информационных технологий сегодня неразделимы, и правильная организация учебного процесса существенно повышает эффективность изучения и понимания каждой из этих дисциплин [1, с. 253]. Информационные технологии для студентов химиков актуальны и интересны тем, что многие профессиональные задачи моделируются и решаются с помощью математических моделей, реализуемых с помощью прикладных программ. На курсе основы информационных технологий появляется возможность повторить и закрепить материал курса высшей математики, решать задачи уже другими методами и способами без бумаги и ручки.

Как мы решаем любую эту математическую задачу? Чаще всего мы это делаем вручную. Например, решаем систему линейных алгебраических уравнений, вычисляем неопределенный интеграл или находим предел функции, строим график функции, а

зачем? Ведь большинство математических задач мы можем решить с использованием компьютера. Настоящая математика – это не только вычисления! Математика гораздо шире, чем просто вычисления. Ранее была только одна возможность – вычисление вручную, но с появлением компьютерных информационных технологий все давно изменилось. Сейчас можно смело сказать, что математика освободилась от вычислений, особенно это актуально для студентов химиков. Рутинную вычислительную работу с успехом сейчас может выполнять компьютер, что позволяет большому числу студентов получить «доступ» к математике, сделать ее более понятной и наглядной [2].

Рассмотрим конкретный практический пример «Определение мольной теплоемкости металла», который иллюстрирует взаимосвязь химии, физики, высшей математики и реализуется на курсе основы информационных технологий с помощью табличного процессора MS Excel.

Задача: Определить мольную теплоемкость металла C_V при температуре T , если известно, что отношение Дебая для данных условий равно 0,62.

Решение. Согласно общей теории теплоемкости металлов величина C_V зависит от температуры металла T и так называемой температуры Дебая θ , которая является характеристическим свойством каждого металла. Отношение температур θ/T обозначим как z . Тогда, согласно формуле Дебая,

$$C_v = \frac{9R}{z^3} \int_0^z x^4 \frac{e^x}{(e^x - 1)^2} dx,$$

где $z = \theta/T$ – отношение Дебая, $R = 8,3143$ – универсальная газовая постоянная.

Реализация задачи осуществляется помощью табличного процессора MS Excel. Для нахождения мольной теплоемкости металла C_V необходимо вспомнить из курса высшей математики определение определенного интеграла, его геометрический смысл [3]. Для реализации алгоритма нахождения определенного интеграла будем использовать метод средних прямоугольников.

Таким образом, для нахождения мольной теплоемкости металла в нашем случае надо найти определенный интеграл:

$$\int_0^{0,62} x^4 \frac{e^x}{(e^x - 1)^2} dx \approx 0,078 .$$

Далее находим мольную теплоемкость металла:

$$C_V = (9 * 8,3143) / (0,62)^3 * 0,078 \approx 24,46.$$

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 апреля 2015 г. Минск: Изд. Центр БГУ, 2015. С. 252–255.
2. *Моханова Л.Ю.* Информационные технологии в современном математическом образовании // Профессиональное образование в России и зарубежом, 2017. № 4 (28).
3. *Коваленко Н.С., Василевич М.Н., Яшкин В.И.* Практикум по высшей математике для студентов химических специальностей: учеб.-метод. пособие. Минск: БГУ, 2021. 279 с.

O. Velko

Belarusian State University, Minsk, Belarus
SPIN-код: 9921-7557

**MODERN APPROACHES TO PROVIDING
THE FOUNDATIONS OF HIGHER MATHEMATICS
AND PROBABILITY THEORY
TO SOCIOLOGY STUDENTS**

The relationship between sociology and mathematics in recent years has become increasingly close and multifaceted. On the one hand, mathematics provides new opportunities for researching sociological phenomena, on the other hand, sociology, as a science, makes higher demands on the formulation of research problems and the definition of ways to solve them.

Modern sociology is often based on data research, and therefore statistics play an important role in sociological research. In order to master statistics, competently describe and analyze the phenomena that it studies, a sociologist must master various sociological and mathematical methods. A young sociologist, who is proficient in modern methods of mathematics, including statistics, will be more in demand on the labor market.

Mathematics is an obligatory part of any serious training program for modern humanities along with native humanities disciplines. [1, p. 60]. The study of mathematics by future sociologists, as well as their use of modern mathematical methods in the analysis of social reality, contributes to a more successful formation of professional competence among students, the ability to use interdisciplinary connections, the implementation of continuity in the study of mathematical concepts, the development of critical and predictive thinking.

The main goal of the academic discipline «Fundamentals of Higher Mathematics and Probability Theory» is to prepare students for the use of modern mathematical apparatus and probabilistic-statistical methods as an effective tool for solving problems used in the pro-

professional activities of a sociologist. The main tasks of studying the discipline are:

1. study of methods for constructing and solving mathematical models using various principles of idealization;
2. development of mathematical methods for solving problems used in the professional activities of a sociologist;
3. formation of skills for applying elements of probability theory and mathematical statistics in educational and professional and social and personal spheres;
4. development of interdisciplinary knowledge related to the use of mathematical and statistical methods in professional activities;
5. development of cognitive interest in the application of mathematical and statistical methods in sociology.

As a result of studying this discipline, students should

1. understand the role and place of mathematics in the modern world and sociological research;
2. basic mathematical methods for solving problems used in the professional activities of a sociologist;
3. the nature of mathematical abstractions and the possibility of their use in the social and economic spheres;
4. elements of combinatorics and their application to the analysis of sociological phenomena;
5. fundamentals of the theory of probability and its use in the processing of sociological data;
6. fundamentals of mathematical statistics and their application in sociological research.

The program of the discipline contains several sections that cover the main areas of application of mathematical methods in sociological research: «Elements of higher mathematics and their application to social objects», «Fundamentals of probability theory and their use in sociological research» and «Fundamentals of mathematical statistics and their application in sociological research» [2]. When drawing up the program, one of the most important was the principle of professional orientation, which implies a close connection between the content of the academic discipline and the professional field of activity of future specialists. When selecting educational material for classes, it is advisable to use tasks compiled on the basis of real statistical data that reflect certain socio-economic patterns or phenomena.

In the course of mastering the content of the training course «Fundamentals of Higher Mathematics and Probability Theory» by sociology students, in addition to standard methods, the author recommends using modern teaching methods, in particular:

1. to carry out the professional orientation of mathematical training;
2. use heuristic learning technologies;
3. improve the quality of mathematical education using information technology;
4. use the MindMapping technique.

Let's take a closer look at each of the proposed methods. Let us dwell in more detail on the implementation of the professional orientation of mathematical training. When selecting educational material for classes, it is advisable to use tasks compiled on the basis of real statistical data that reflect certain socio-economic patterns or phenomena. Let's give some examples. When studying the topic «Elements of set theory and their application to social objects» [3], one can consider specific tasks for applying set theory to questionnaires and social groups. Binary relations, i.e. relations between two elements of any set are the main tool for modeling and studying social relations. Such binary relations as «to be a classmate», «to be a relative», «to be older» are considered. Students acquire the first skills of modeling with the help of binary relations [4, p. 29].

The implementation of heuristic learning technology based on tasks of heuristic content makes it possible to implement a competent approach, interdisciplinary connections and comprehensively approach the problem of improving the teaching of mathematics for students of social and humanitarian specialties, including future sociologists [5, p. 12]. As a result of completing these tasks, students create an educational product that is different from others; develop creative self-realization and cognitive interest in the application of mathematics in various fields of activity. Consider examples of heuristic tasks:

Heuristic task on the topic «Binary relations»

1. Give three to five examples of binary relationships that you have encountered in your daily life. Each example should reflect a specific area of your life: family, friends, studies, etc. Are you in any binary relationship? What binary relationship would you like to be in?

2. Between family members there are relations of kinship, which can be expressed by the words: «to be a husband», «to be a brother», etc. The set M is the set of members of your family. Indicate all possible relations on the set M ;

3. Binary relations can be given by a formula. The formula $x+y=\text{love}$ defines a binary relation on a set of people. This relation belongs to any pair of people between whom there is love. Come up with your own formula for a binary relation;

4. In what other form, in your opinion, can a binary relation be represented? Which form of representation of binary relations did you like best and why?

Heuristic task on the topic «Graphs»

Graphs are used in sociology, anthropology, economics, communication theory, social psychology and many other areas where social networks are analyzed. The elements of the social structure (people, communities, groups) are represented as graph nodes, and the relationships between them (organizational, economic dependencies, decision-making levels, and communications) are represented as edges connecting the graph vertices.

1. Give three examples of using graphs in everyday life.

2. You want to plan a trip. Build a graph that displays the time, costs, travel. What else would you include in this column?

3. Draw a diagram of the route from your home to the place of study in the form of a graph.

4. Represent your family's ancestry using the graph in one of two ways. The graph tree can be descending, representing all the descendants of one married couple, or ascending, which will represent all the ancestors of a particular person. Justify the choice of method [6, p. 16].

Now we can safely say that modern mathematics has freed itself from calculations, this is especially true for students of socio-humanitarian specialties. Routine computational work can now be successfully performed by a computer, which allows a large number of students to get «access» to mathematics, to make it more understandable [7, p. 64]. The use of information technologies in the process of teaching future sociologists in mathematical disciplines contributes to the implementation of a personality-oriented approach, allows you to choose an individual pace of work and independently allocate time to

study the material. Deep statistical analysis, providing reasonable, accurate and reliable diagnostic results, is unthinkable without the use of modern computer methods. In this regard, mathematics teachers are encouraged to use information technology in their activities. The author has developed methodological recommendations on the use of information technology in solving problems in probability theory and mathematical statistics for students of sociology, which contain brief theoretical information, a detailed description of each action and tasks for independent solution identical to those that are solved in practical classes in mathematics, which allows compare the results.

To intensify the educational process in the classes on the discipline «Fundamentals of Higher Mathematics and Probability Theory» for sociology students, the authors of the article use the MindMapping technique [8, p. 114]. This technique allows you to structure the educational material in the form of mental maps. Such an unusual presentation of educational material for the traditional methodology attracts the attention of the audience, makes the lesson more exciting, leads to more successful memorization of material that is difficult for the humanities, better assimilation of information obtained in the classroom and in the process of independent work. The effectiveness of this technique is confirmed by the emotional positive responses of students to the proposed form of the lesson. By completing mental maps, each student creates their own educational product, gets the opportunity for creative self-expression and self-realization.

Summing up, we note that mathematics plays a significant role both in the further education of future sociologists and in their future professional activities. It allows you to quantitatively compare phenomena, checks the correctness of verbal statements, helps to reasonably predict future events, mathematical statistics underlies the sociological experiment, and the desire for the correctness of the study leads to the study of the relevant sections of higher mathematics [9, p. 266]. Knowledge of higher mathematics is also necessary when building models of social phenomena and processes. The ability to correctly formulate a question in the language of mathematics, to adequately interpret the results obtained from the point of view of the social sciences, to clarify and correct the built mathematical model are the most important in the methodological arsenal of the future sociologist.

References

1. *Велько О.А.* Методические подходы к преподаванию математики студентам-социологам // Математика и информатика в естественнонаучном и гуманитарном образовании. Минск: Изд. центр БГУ, 2012. С. 58–61.
2. *Ерovenko В.А.* Основы высшей математики: типовая учебная программа для высших учебных заведений по специальности 1-23 01 05 «Социология». Минск, 2019.
3. *Велько О.А.* Основы высшей математики: учебная программа УВО для специальности 1-23 01 05 Социология. Минск, 2019.
4. *Велько О.А.* Основы высшей математики для социологов: учебно-методическое пособие. Минск: БГУ, 2020. 303 с.
5. *Velko O.A.* Open type tasks as a means to activate students' creative activity // Математика у технічному університеті XXI сторіччя. Краматорськ: ДДМА, 2019. С. 151–153.
6. *Велько О.А.* Эвристическое занятие «Графы как инструмент моделирования процессов природы и общества» // Матэматыка. 2020. № 6. С. 12–20.
7. *Велько О.А.* Технологии использования математического моделирования в социологических исследованиях // Розвиток інтелектуальних умінь і творчих здібностей учнів та студентів у процесі навчання дисциплін природничо-математичного циклу «ІТМ*плюс – 2020». Суми: ФОП Цьома С.П., 2020. С. 64–65.
8. *Велько О.А.* Ментальные карты как средство организации и активизации образовательного процесса на занятиях по высшей математике и информатике для студентов нематематических специальностей // Инновации в образовании. М., 2021. № 6. С. 107–118.
9. *Моисеева Н.А.* Активизации творческой деятельности студентов на занятиях по дисциплине «Высшая математика с основами информатики» // Математическое образование: современное состояние и перспективы (к 100-летию со дня рождения профессора А. А. Столяра). Могилев: МГУ имени А. А. Кулешова, 2019. С. 265–267.

Н.В. Михайлова

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь

SPIN-код: 5428-4055

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПОНИМАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ДОКАЗАТЕЛЬСТВА И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ В ПРАКТИКЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Традиционное математическое доказательство и понимание его изменений, связанных с информационными технологиями, требуют философского осмысления компьютерного доказательства как средства убеждения, позволяющего найти нечто общее в двух видах взаимосвязанной аргументации. Формальная сложность такого осмысления проявляется в том, что комбинаторная методика, свойственная компьютерным доказательствам, плохо сочетается с интуицией математической креативности. По мнению философа математики, профессора В.В. Целищева, это обусловлено несколькими причинами: «Формальная верификация математического дискурса не дает никаких намеков по поводу того, почему доказанная компьютером теорема является истинной. Поскольку к компьютерным программам не применимы, как уже указывалось выше, толкования понимания, свойственные обыденному математическому дискурсу...» [1, с. 62]. Кроме того, применение математической теории как правило шире, чем решение той практической задачи, с которой эта теория была первоначально связана, поскольку концептуальное понимание заключается уже не в доказательстве истины, а, в связи с развитием компьютерных и информационных технологий, в доказательстве разрешимости.

С одной стороны, повсеместное внедрение компьютерного образования и развитие новых информационных технологий способствуют, прежде всего, качественному изменению организации информационных ресурсов, включая их хранение и обеспе-

чение доступа к ним. С другой стороны, одна из основных причин ограниченных возможностей компьютерного эксперимента состоит в том, что задачи, при решении которых можно и целесообразно использовать компьютер, должны иметь определенную структуру. Поэтому компьютерному моделированию поддаются лишь некоторые частные процессы, а не вся теория целиком, поскольку при исследовании математической модели используются также рассуждения, не носящие конкретно выраженного строго дедуктивного характера. Не случайно прогресс компьютерной математики выглядит все же иначе, чем прогресс естественных наук, что также по-своему косвенно влияет на общественное сознание и социально-гуманитарные науки.

Однако есть важные философско-методологические причины, которые не позволяют считать каждое переусложненное доказательство с использованием компьютера убедительным, даже несмотря на то, что, хотя компьютерная программа доказательства утверждения реализуется по законам формальной логики, в нее могут вкрасться ошибки. Ведь вера основывается на надежности компьютера, в работе которого иногда случаются сбои и который может содержать ошибки даже в программном обеспечении. В такой ситуации общезначимым критерием является надежность полученных математических результатов и до тех пор, пока еще соблюдается это условие, вычисления, произведенные с помощью компьютера, будут столь же убедительны, как и сделанные «вручную» [2]. Тем не менее, философская рефлексия современного развития общего математического знания и познания показывает, что компьютерные доказательства реально способствуют новому пониманию изменения подходов к обоснованию некоторых разделов математики, которые тесно соотносятся с вопросами об убедительности традиционного «ручного» математического доказательства, сделанного профессионально работающими математиками.

Обоснование правильности компьютерных вычислений попадает под такие же методологические ограничения, как и результаты о неразрешимости некоторых математических проблем. Причем обосновывать их тем сложнее, чем эффективней работают соответствующие информационные технологии. Использование «кремниевой логики» в математике изменяет практику ма-

тематического доказательства. Компьютерные доказательства обозначили принципиально новый этап осмысления роли информационных технологий, а также понимания математического моделирования процессов, протекающих в реальном мире. И хотя для некоторых математиков доказательства переусложненных теорем, осуществленные с использованием сложных компьютерных программ, не могут считаться надежными и рассматриваются лишь в качестве направляющих теоретический поиск гипотез, они практически могут рассматриваться как теоретический конструкт для выработки новой философской концепции обоснования математики, учитывающей ее реальные практические запросы.

С помощью компьютерных технологий можно найти варианты решения математических задач даже в том случае, если они используются не только как вычислительное устройство, но и как особое инструментальное средство, позволяющее изменить стереотипы в понимании математических знаний и в самой критически-когнитивной деятельности. Несмотря на критику, отметим предсказание, сделанное математиком, академиком Ю.В. Матиясевичем: «Через 25 лет журналы (если они еще будут существовать) не будут принимать к рассмотрению статьи, не сопровождаемые доказательствами, которые может проверить компьютер» [3, с. 17]. Он предполагает, что такое требование будет также способствовать большей убежденности в правильности формализованного доказательства, если оно будет доступно для реализации на компьютере.

Литература

1. *Целищев В.В.* Доказательство, понимание и компьютеры // Философские проблемы информационных технологий и киберпространства. 2020. № 1. С. 54–67.
2. *Михайлова Н.В.* Математическое познание в контексте философской проблемы компьютерного доказательства // Проблемы онто-гносеологического обоснования математических и естественных наук. 2022. Вып. 13. С. 66–74.
3. *Матиясевич Ю.В.* Математическое доказательство: вчера, сегодня, завтра // Компьютерные инструменты в образовании. 2012. № 6. С. 13–24.

А.Г. Гутор¹, С.П. Сташулёнок²

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

¹SPIN-код: 4938-9438; ²SPIN-код: 2078-7905

О ПРИДАНИИ СМЫСЛА ПОНЯТИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ КОШИ

Рассмотрим случайную величину с плотностью распределения $p_\xi(x) = \frac{1}{\pi(x^2 + 1)}$, $x \in \mathbb{R}$ (стандартная случайная величина

Коши). Известно, что в классическом смысле [1, с. 95] у неё не существует математического ожидания: $\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|x|}{x^2 + 1} dx =$

$$= \frac{2}{\pi} \int_0^{+\infty} \frac{x}{x^2 + 1} dx = \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} \frac{d(x^2 + 1)}{x^2 + 1} = \frac{1}{\pi} \ln(x^2 + 1) \Big|_0^{+\infty} = +\infty.$$

Однако некоторые авторы [2, с. 41] считают, что математическому ожиданию данной случайной величины можно придать некоторый смысл.

В случае, когда у случайной величины не существует математического ожидания, можно рассмотреть обобщение этого понятия, так называемое *обобщённое математическое ожидание*. Но нужна согласованность в том смысле, что, если у некоторой случайной величины есть математическое ожидание в классическом смысле, оно должно равняться её обобщённому математическому ожиданию. Исходя из этих соображений, Колмогоров предложил решение [3]. Он утверждает, что, если средние $\eta_n = \frac{\xi_1 + \dots + \xi_n}{n}$,

$n \in \mathbb{N}$ независимых одинаково распределённых случайных величин ξ_1, \dots, ξ_n обладают свойством устойчивости [3, с. 88], причём

$d_n = M^o \xi_n$, т. е. постоянны [3, с. 101], будет присутствовать эта согласованность понятий. Действительно, в случае, когда у независимых, одинаково распределённых случайных величин существует конечное математическое ожидание, для них выполнен закон больших чисел [1, с. 183], другими словами, их средние η_n являются *нормально устойчивыми* [3, с. 88], а значит, устойчивыми и $d_n = M^o \xi_n = M \xi_n$. Но при каких условиях выполнено свойство устойчивости и $d_n = M^o \xi_n$? Оказывается, для устойчивости средних η_n необходимо и достаточно, чтобы выполнялось свойство:

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

при этом можно положить $d_n = \int_{-n}^n x dF_\xi(x)$ [3, с. 101].

Тогда в качестве обобщённого математического ожидания $M\xi$ будем рассматривать предел

$$M\xi = \lim_{n \rightarrow +\infty} d_n = \lim_{n \rightarrow +\infty} \int_{-n}^n x dF_\xi(x). \quad (2)$$

Итак, для того, чтобы существовало обобщённое математическое ожидание по Колмогорову, нужно проверить свойство (1), а также существование предела из (2).

Предел из (2) для стандартной случайной величины Коши

существует: $\lim_{n \rightarrow +\infty} \int_{-n}^n \frac{x}{\pi(x^2 + 1)} dx = \lim_{n \rightarrow +\infty} 0 = 0$. Проверим свойство

(1), т. е. истинно ли соотношение $\lim_{n \rightarrow +\infty} nP(|\xi| > n) =$

$= \lim_{n \rightarrow +\infty} n \int_{|\xi| > n} \frac{dx}{\pi(x^2 + 1)} = 0$. Или, что оба предела $\lim_{n \rightarrow +\infty} n \int_n^{+\infty} \frac{dx}{\pi(x^2 + 1)}$ и

$\lim_{n \rightarrow +\infty} n \int_{-\infty}^{-n} \frac{dx}{\pi(x^2 + 1)}$ равны 0. Достаточно проверить для одного, воспользовавшись

правилом Лопиталья: $\lim_{n \rightarrow +\infty} n \int_{-\infty}^{-n} \frac{dx}{\pi(x^2 + 1)} =$

$$= \lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{\int_{-\infty}^{-n} \frac{dx}{\pi(x^2 + 1)}}{1/n} = \lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{n^2}{\pi(n^2 + 1)} = \frac{1}{\pi} \neq 0.$$

Таким образом, свойство (1) не выполнено, а, значит, для стандартной случайной величины Коши нельзя рассматривать обобщённое математическое ожидание $M\xi$ по Колмогорову.

Известно, что выборочное среднее является сильно состоятельной оценкой математического ожидания (при условии его существования). А значит, для выборки из такого распределения её выборочное среднее должно быть близким к 0, поскольку, как показано выше, предел в (2) равен 0. Однако для выборки из распределения Коши это не так. Продемонстрируем это, моделируя соответствующую выборку.

С помощью метода обратной функции 10 раз смоделируем в пакете *Excel* выборку объёма 1000 из нашего распределения. Приведём значения выборочных средних для смоделированных выборок из равномерного на $[0,1]$ распределения (верхняя строка), а также для соответствующих выборок из распределения Коши (нижняя строка):

0,509	0,491	0,503	0,493	0,506	0,507	0,499	0,504	0,514	0,505
0,102	0,012	-2,654	-1,594	-0,571	0,785	-6,058	3,989	0,256	-2,202

Как видно из первой строки, реализации выборочных средних группируются возле значения 0,5 (математического ожидания равномерного распределения на $[0,1]$). В случае же распределения Коши такой группировки около нуля не наблюдается.

Литература

1. *Лазакевич Н.В., Сташулёнок С.П., Яблонский О.Л.* Теория вероятностей: учебник. 3-е изд., с изменен. Минск: БГУ, 2013. 335 с.
2. *Худсон Д.* Статистика для физиков. Лекции по теории вероятностей и элементарной статистике. М.: Мир, 1970. 297 с.
3. *Колмогоров А.Н.* Основные понятия теории вероятностей. М.: Наука, 1974. 120 с.

О.М. Матейко¹, Н.Б. Яблонская

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

¹SPIN-код: 8657-8698

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ ДВУХ ПОПУЛЯЦИЙ

Содержание математической подготовки студентов должно формироваться в соответствии с их специальностью, т. е. при рассмотрении конкретного материала математической дисциплины на первый план должна быть выдвинута идея его связи с будущей профессией. Целесообразно, например, включать в учебный материал начальные элементы математического моделирования.

В качестве примера математической модели, которую можно предложить при изучении учебной дисциплины «Высшая математика» на биологическом факультете рассмотрим систему совместного существования двух популяций, которая называется системой «хищник-жертва». Считается, что популяции обитают в изолированной среде, которая обеспечивает всем необходимым только одну популяцию (жертвы). А вот особи второй популяции (хищники) питаются только особями первой популяции. В отличие от классической модели Лотки-Вольтерры, рассматривается более простая модель, доступная для понимания студентами первого курса.

Обозначим $x(t)$ количество особей популяции жертв (зайцев), а $y(t)$ – количество особей популяции хищников (волков) в момент времени t .

Мы предполагаем, что популяция-жертва (численность которой мы обозначили $x(t)$) является единственным кормом для хищника. Естественно предположить, что при обилии корма для хищника его смертность уменьшается, а рождаемость увеличивается. Наоборот, нехватка корма уменьшает рождаемость. Таким образом, изменение $x(t)$ влечет за собой изменение $y(t)$.

Пусть они задаются следующими равенствами:

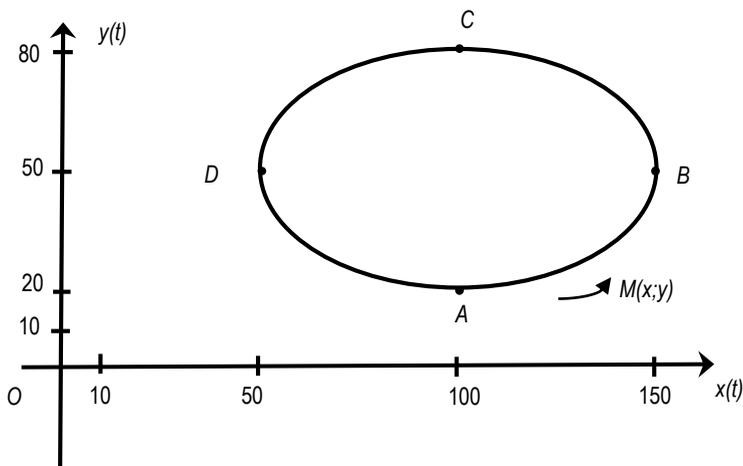
$$\begin{cases} x(t) = 100 + 50 \sin \frac{\pi}{4} t, \\ y(t) = 50 - 30 \cos \frac{\pi}{4} t, \end{cases}$$

где t – время, выраженное в годах.

Функции $x(t)$ и $y(t)$ определены на множестве $(-\infty; +\infty)$, однако, исходя из условия задачи будем считать, что $t \geq 0$. Они являются периодическими с наименьшим положительным периодом $t = \frac{2\pi}{\pi/4} = 8$ лет.

Найдем промежутки монотонности функций $x(t)$ и $y(t)$ с помощью производной.

Изобразим зависимость между $y(t)$ и $x(t)$ на плоскости Oxy .



В нижней точке A графика численность хищников минимальна (20) и, следовательно, для развития жертвы существуют наиболее благоприятные условия. Естественно, что поэтому с течением времени численность жертвы начнет увеличиваться. Но это означает, что увеличиваются запасы корма для хищника. Дан-

ное изменение отражается движением точки M в направлении, указанном на чертеже. Итак, начиная от точки A и до точки B обе численности растут до тех пор, пока значение $y(t)$ не достигнет величины 50. К этому моменту хищников становится так много, что они выедают жертву скорее, чем она успевает воспроизводить себя, и численность $x(t)$ начинает убывать. При этом численность $y(t)$ все еще растет. Эта ситуация описывается участком траектории от B до C . В точке C численность $y(t)$ достигает максимального значения (80). Хищников так много, а жертв, т.е. пищи для них, так мало, что скорость воспроизводства хищников падает, и численность $y(t)$ убывает. Продолжает убывать и $x(t)$. Это отражается участком траектории от C до D . В точке D хищников уже так мало, что они выедают жертву со скоростью меньшей, чем скорость воспроизводства жертвы. Поэтому, достигнув в точке D минимального значения (50), численность $x(t)$ начинает увеличиваться. Но запасов пищи для хищников все еще мало, и численность $y(t)$ все еще убывает. Это участок от D до A . После того, как точка M придет в положение A , все повторится.

Таким образом, в нашей модели деятельность хищников не ведет к полному истреблению жертвы, а затем и гибели самих хищников от голода. Наоборот, оба вида, периодически изменяя свою численность, могут сосуществовать долго.

Литература

1. *Гильдерман Ю.И.* Математизация биологии. М.: Знание, 1969.

С.М. Бородич¹, Т.В. Кавитова²

¹Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,
г. Витебск, Беларусь

SPIN-код: 5379-9020

²Средняя школа № 42 г. Витебска им. Д.Ф. Райцева,
г. Витебск, Беларусь

SPIN-код: 4044-6196

О ПОВЕДЕНИИ РЕШЕНИЙ ОДНОГО НЕАВТОНОМНОГО ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ПРИ $t \rightarrow +\infty$

Пусть Ω – ограниченная область в \mathbf{R}^3 с достаточно гладкой границей $\partial\Omega$. Рассматривается неавтономное гиперболическое уравнение

$$\partial_t^2 u + \varepsilon \partial_t u = \Delta u - f(u, t) - g(x, t), \quad x \in \Omega, \quad t > 0, \quad (1)$$

с граничным условием

$$u|_{x \in \partial\Omega} = 0. \quad (2)$$

Здесь $\varepsilon > 0$, $u = u(x, t)$, Δ – оператор Лапласа по пространственным переменным x_1, x_2, x_3 , $f(t, u)$ и $g(t, x)$ – заданные функции. Предполагается, что

$$f(u, t) = \varphi(u, t) + h(u, t), \quad \varphi(u, t), h(u, t) \in C^1(\mathbf{R} \times [0, +\infty))$$

и выполнены следующие условия:

$$f(u, t)u \geq -C_1, \quad \varphi(u, t)u \geq 0, \quad \varphi'_u(u, t) \geq -C_2, \quad \varphi'_u(0, t) \leq C_3,$$

$$|\varphi'_u(u, t) - \varphi'_u(v, t)| \leq C_4 |u - v| (1 + |u| + |v|),$$

$$|h'_u(u, t)| \leq C_5 (|u|^\gamma + 1), \quad 0 < \gamma < 2,$$

$$F(u, t) \equiv \int_0^u f(s, t) ds \geq -C_6,$$

$$|h'_t(u, t)| \leq k_1(t) (|u|^3 + 1), \quad |\varphi'_t(u, t)| \leq k_2(t) (|\varphi(t, u)| + |u|),$$

$$F'_t(u, t) \leq k_3(t) (F(u, t) + u^2 + C_7)$$

для всех $u, v \in \mathbf{R}$ и $t \geq 0$, где

$$C_i > 0 \quad (i = \overline{1,7}), \quad k_j(t) \in C([0, +\infty)), \quad k_j(t) \geq 0, \\ k_j(t) \rightarrow 0 \quad \text{при } t \rightarrow +\infty \quad (j = 1, 2, 3)$$

и, кроме того,

$$\int_0^{+\infty} k_3(t) dt < +\infty.$$

Предполагается также, что $g(\cdot, t), g'_i(\cdot, t) \in C([0, +\infty); L_2(\Omega))$, причем

$$\|g(x, t)\| \leq C \quad \forall t \geq 0, \quad \int_0^{+\infty} \|g'_i(x, t)\| dt < +\infty, \quad \|g'_i(x, t)\| \rightarrow 0 \quad \text{при } t \rightarrow +\infty,$$

где $\|\cdot\|$ – норма в пространстве $L_2(\Omega)$.

С помощью методов, изложенных, например, в книгах [1], [2], устанавливается, что задача (1), (2) порождает в пространстве $E = H_0^1(\Omega) \times L_2(\Omega)$ семейство эволюционных операторов $\{S_{t,\tau}, t \geq \tau \geq 0\}$:

$$S_{t,\tau} : y_0 \rightarrow y(t),$$

где $y_0 = (u_0, p_0) \in E$, $y(t) = (u(t), \partial_t u(t))$, $u(t)$ – решение задачи (1), (2) с начальными условиями

$$u|_{t=\tau} = u_0, \quad \partial_t u|_{t=\tau} = p_0.$$

Исследуется поведение при $t \rightarrow +\infty$ совокупности решений задачи (1), (2), начальные значения которых образуют произвольное ограниченное множество в банаховом пространстве E начальных данных задачи.

Для любых непустых множеств $X, Y \subset E$ положим

$$\text{dist}(X, Y) = \sup_{x \in X} \inf_{y \in Y} \|x - y\|_E \quad (\|\cdot\|_E \text{ – норма в } E).$$

Максимальным аттрактором семейства эволюционных операторов $\{S_{t,\tau}\}$ называется такое компактное в E множество A , что:

- 1) для любого ограниченного в E множества B $\text{dist}(S_{t,0}B, A) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow +\infty$ (свойство притяжения);

2) если \mathcal{M} – компактное в E множество и для любого ограниченного в E множества B $\text{dist}(S_{t,0}B, \mathcal{M}) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow +\infty$, то $\mathcal{A} \subset \mathcal{M}$ (свойство минимальности).

Справедлива следующая теорема.

Теорема. Семейство эволюционных операторов $\{S_{t,\tau}\}$, порожденное задачей (1), (2), обладает максимальным аттрактором.

Литература

1. Лионс Ж.-Л. Некоторые методы решения нелинейных краевых задач. М.: Мир, 1972.
2. Бабин А.В., Вишик М.И. Аттракторы эволюционных уравнений. М.: Наука, 1989.

А.И. Никитин¹, Д.А. Булыно

Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,

г. Витебск, Беларусь

¹SPIN-код: 1642-7332

ЕДИНСТВЕННОСТЬ РЕШЕНИЯ 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:

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

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

Относительно данных задачи (1) будем предполагать следующее:

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

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

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

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

Пусть $Q_T = \Omega \times (0, T)$, $S_T = \partial\Omega \times (0, T)$, $\Gamma_T = S_T \cup \overline{\Omega} \times \{0\}$.

Тогда для задачи (1) справедливо следующее утверждение.

Теорема. Пусть задача (1) имеет либо решение в Q_T с отрицательными начальными данными, если $\min(m, n) \geq 1$, и положительными начальными данными, если $\min(m, n) < 1$, $p \geq 1$, $q \geq 1$, либо положительное решение в $Q_T \cup \Gamma_T$ если $\max(m, n, p, q) < 1$. Тогда решение задачи (1) единственно.

Литература

1. Gladkov A., Guedda M. Semilinear heat equation with absorption and a nonlocal boundary condition // *Applicable Analysis*. 2012. Vol. 91, № 12. P. 2267–2276.
2. 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.

И.А. Панкратов^{1,2}

¹*Саратовский национальный исследовательский
государственный университет им. Н.Г. Чернышевского,*

²*Саратовский научный центр РАН, г. Саратов, Россия*
SPIN-код: 7710-2400

О ПОСТРОЕНИИ РАВНОМЕРНО ПРИГОДНОГО РЕШЕНИЯ КВАТЕРНИОННЫХ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

В настоящей работе в кватернионной постановке исследована задача о движении космического аппарата (КА) по околокруговой орбите под действием постоянного по модулю управления. Управление (вектор ускорения от реактивной тяги) направлено ортогонально плоскости орбиты КА. В этом случае орбита КА не меняет своей формы и размеров, а поворачивается в пространстве как твёрдое тело. Движение центра масс КА рассматривается в орбитальной системе координат [1; 2], кватернион ориентации которой относительно инерциальной системы координат является искомой величиной. Рассмотрен случай, когда управление сохраняет постоянное значение на смежных участках активного движения КА, что соответствует оптимальному по Понтрягину [3] управлению, например, при решении задачи быстрогодействия и задачи минимизации затрат характеристической скорости [4; 5]. Заметим, что аналитическое решение кватернионного дифференциального уравнения ориентации орбитальной системы координат найдено лишь в некоторых частных случаях [6–9].

Ранее, автором в работе [10] было построено приближённое аналитическое решение вышеуказанного кватернионного уравнения в виде ряда по степеням эксцентриситета орбиты КА (малого параметра). Это разложение становится непригодным при большом количестве оборотов вокруг Земли из-за наличия в нём вековых слагаемых. В настоящей работе предложен метод для устра-

нения этих слагаемых, основанный на методе перенормировки [11]. Нелинейная частота колебаний каждой из компонент искомого кватерниона была также разложена в ряд Тейлора по степеням эксцентриситета орбиты КА с точностью до величин второго порядка малости. Коэффициенты указанного разложения удалось подобрать так, чтобы вековые слагаемые были устранены, а разложение стало равномерно пригодным [12]. При этом все аналитические выкладки были произведены с помощью пакета символьной алгебры SymPy [13; 14] на языке Python3. Показано, что результаты расчётов по аналитическим формулам, полученным в работе, согласуются с результатами численного решения задачи Коши методом Рунге-Кутты четвёртого порядка точности.

Даны примеры численного решения задачи для случая, когда начальная ориентация орбитальной системы координат соответствует ориентации орбиты одного из спутников орбитальной группировки ГЛОНАСС. Построены графики изменения погрешности определения компонент кватерниона ориентации орбитальной системы координат и нормы указанного кватерниона. Проведён анализ полученных решений. Установлены особенности и закономерности процесса движения КА по околокруговой орбите. В частности, применённый метод перенормировки значительно снижает погрешность определения нормы искомого кватерниона, которая является первым интегралом задачи.

Литература

1. *Челноков Ю.Н.* Применение кватернионов в теории орбитального движения искусственного спутника. I // *Космические исследования.* 1992. Т. 30. Вып. 6. С. 759–770.
2. *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.
3. *Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф.* Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1983.
4. *Челноков Ю.Н.* Оптимальная переориентация орбиты космического аппарата посредством реактивной тяги, ортогональной плоскости орбиты // *Прикладная математика и механика,* 2012. Т. 76. Вып. 6. С. 895–912.

5. *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.
6. *Бранец В.Н., Шмыглевский И.П.* Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. М.: Наука, 1973. 320 с.
7. *Зубов В.И.* Аналитическая динамика гироскопических систем. Л.: Судостроение, 1970.
8. *Молоденков А.В.* К решению задачи Дарбу // Изв. РАН. Механика твердого тела. 2007. № 2. С. 3–13.
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. *Найфэ А.* Введение в методы возмущений. М.: Мир, 1984. 535 с.
12. *Найфэ А.* Методы возмущений. М.: Мир, 1976. 456 с.
13. *Führer C., Solem J.E., Verdier O.* Scientific computing with Python 3. Birmingham - Mumbai: Packt Publishing, 2016. 332 p.
14. *Meurer A. et al.* SymPy: symbolic computing in Python // PeerJ Computer Science. URL: <https://peerj.com/articles/cs-103.pdf> (дата обращения: 07.01.2023).

А.К. Гуц

Международный инновационный университет, г. Сочи, Россия
SPIN-код: 3792-6510

ЦИКЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МОДЕЛЕ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ «ОПОЛЗНИ-ЗАТОПЛЕНИЯ-ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ»

Рассмотрим стихийное природное бедствие, которое включает оползни, ливневые дожди, сопровождаемые затоплениями местности, и землетрясения. Причинами оползня выступают дожди, или наводнение, землетрясения, или всё вместе. Описанное бедствие моделируем посредством следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= f_1(x, w, z) = -[H + x^2]x - rwz, \\ \frac{dw}{dt} &= f_2(x, w, z) = \rho w \left(1 - \frac{w^2}{R}\right) - \alpha r x, \\ \frac{dz}{dt} &= f_3(x, w, z) = -z^3 - pz - q,\end{aligned}\tag{1}$$

где x – смещение оползня [1], характеризующие состояние оползня, w – средняя величина глубины воды при затоплении, смещение в разломе [2].

Второе уравнение в (1) получено следующим образом. Мы рассматривали случай многосуточного ливневого дождя, когда вода поступает на изучаемую местность в форме осадков (дождь) и посредством затопления местности, вышедшей из берегов реки.

Пусть w – средняя величина глубины воды. Примем, что существует величина $R > 0$ такая, что если $w^2 < R$, то скорость изменения величины w положительна, т. е. вода прибывает, но когда w превысит R , то вода, уровень затопления начинает спадать. Другими словами, уровень воды не может бесконечно расти до «небес». И отчасти этому, предполагаем, способствуют дождевые осадки. Сказанное можно описать посредством уравнения

$$\frac{dw}{dt} = \rho w \left(1 - \frac{w^2}{R} \right) - \alpha r,$$

где $\alpha, \rho = \text{const}$.

В первом уравнении системы (1) мы учли (нелинейное) влияние затоплений и землетрясений на сход оползней, а во втором уравнении возможное влияние оползня на затопления (например, оползень может перегородить русло реки и вызвать затопление; существуют также оползни-потоки, порождающие затопления). Третье уравнение независимо от первых двух, поскольку трудно говорить о том, что оползни, дожди и наводнения могут влиять на землетрясения.

Нас интересует возможность перехода стационарных равновесий в циклическое равновесие, известного под названием «бифуркация Андронова-Хопфа». Иными словами, хотелось бы получить ответ на вопрос о том, могут ли оползневые смещения и уровни затопления, а в случае системы (1) еще и подземные толчки «ходить по кругу», т.е. изменяться с течением времени по замкнутой кривой в соответствующем им пространстве состояний.

Для того чтобы убедиться в наличии циклов в системе (1) воспользуемся вариантом теоремы о бифуркации Андронова-Хопфа из [3].

Очевидно, $x_0 = w_0 = 0$ и z_0 – вещественный корень уравнения $3z^3 + pz + q = 0$ являются стационарными равновесиями системы (1), т.е.

$$\frac{dx}{dt}(x_0, w_0, z_0) = \frac{dw}{dt}(x_0, w_0, z_0) = \frac{dz}{dt}(x_0, w_0, z_0) = 0.$$

Нам необходимо найти собственные числа $\lambda_{1,2,3}$ матрицы

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial w} & \frac{\partial f_1}{\partial z} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial w} & \frac{\partial f_2}{\partial z} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x} & \frac{\partial f_3}{\partial w} & \frac{\partial f_3}{\partial z} \end{pmatrix} (x_0, w_0, z_0).$$

Вычисляя, находим $\lambda_{1,2} = \frac{1}{2} \{ -(H - \rho) \pm \{ 4\alpha r^2 z_0^2 - (H + \rho)^2 \}^{\frac{1}{2}} \} i$, $\lambda_3 = -3z_0^2$, где мы приняли, что $(H + \rho)^2 < 4\alpha r^2 z_0^2$. Считая $\rho = \mu$, полагаем, что

$$\operatorname{Re} \lambda_1(\mu_0) = \frac{1}{2}(\mu_0 - H) = 0.$$

Тогда поскольку $\operatorname{Im} \lambda_1(\mu_0) = \{4\alpha r^2 z_0^2 - (H + \rho)^2\}^{\frac{1}{2}} > 0$ и $\frac{\partial \operatorname{Re} \lambda_1(\mu_0)}{\partial \mu} = \frac{1}{2} \neq 0$, то выполнены условия теоремы Бо Санга из [3]. Следовательно, у системы (1) существует семейство предельных циклов. Обнаружение таких циклов, например, на Северном Кавказе, – это серьезное научное исследование.

Литература

1. *Qin S.Q., Jiao J.J., Wang S.J.* A cusp catastrophe model of instability of slip buckling slope // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2001. Vol. 34. P. 119–134.
2. *Zaitie Chen, Wei Wang, Dayang Li.* Instability Analysis of Strike-Slip Fault Based on Cusp Catastrophe Model // *SDHM*. 2018. Vol.12. P.19–33.
3. *Bo Sang.* Hopf bifurcation formulae and applications to the Genesio-Tesi system // *J. Nonlinear Funct. Anal.* 2019. Article ID 34. URL: <http://jnfa.mathres.org/issues/JNFA201934.pdf> (30.08.2021).

А.В. Архипенко

Международный инновационный университет, г. Сочи, Россия
SPIN-код: 3402-4039

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ НАСЫПНОГО ГРУЗА ПО РАБОЧЕМУ ОРГАНУ ВИБРОКОНВЕЙЕРА

Вибрационные конвейеры обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными ленточными, пластинчатыми, скребковыми и шнековыми конвейерами, особенно при работе с абразивными мелкодисперсными материалами [5; 6; 8; 10] и легко интегрируются в автоматизированные производственные линии [5; 9; 11–13].

Задача подбора оптимального закона колебаний рабочего органа виброконвейера сводится к отысканию такого закона движения грузонесущей поверхности, которому при заданных частоте колебаний ω , наибольшем ускорении $A\omega^2_{\max}$, угле наклона плоскости к горизонту α и заданных свойствах перемещаемого материала (коэффициент трения груза о желоб виброконвейера f) соответствует наибольшая скорость виброперемещения $V_{\text{ср}}$ [4].

Во время вибротранспортирования частица материала может двигаться совместно с грузонесущей поверхностью или совершать относительно нее микрополет. При совместном движении возможно движение материала вперед и назад относительно нее, а также его относительный покой.

Средняя скорость движения частицы материала по рабочему органу виброконвейера определяется по выражению [1–3]

$$V_{\text{ср}} = A\omega \cos \beta K_Z, \quad (1)$$

где K_Z – коэффициент передачи горизонтальной составляющей скорости, зависящий от этапа движения частицы; A – амплитуда колебаний.

При коэффициенте режима работы $K_p \geq 1,0$ для тонкоизмельченных сыпучих материалов ($f = 0,6 \dots 0,8$), оптимальное зна-

чение угла вибрации β изменяется незначительно и находится в пределах $25^\circ \dots 35^\circ$ [1].

Анализ зависимостей коэффициента передачи горизонтальной составляющей скорости K_z от угла вибрации (рис. 1), позволяет увидеть, что при $K_p \geq 2$, когда этап полета груза соизмерим с периодом колебаний, при определении скорости виброперемещения для грузов с хорошей воздухопроницаемостью можно воспользоваться формулой (1), полагая $K_z = 1$.

Движение слоя сыпучей среды весьма существенным образом отличается от движения частицы [3–5]. Интенсификация режимов при перемещении тонкоизмельченных материалов не приводит к желаемому увеличению скорости виброперемещения, а наоборот, в ряде случаев, приводит к прекращению вибротранспортировки [4; 8].

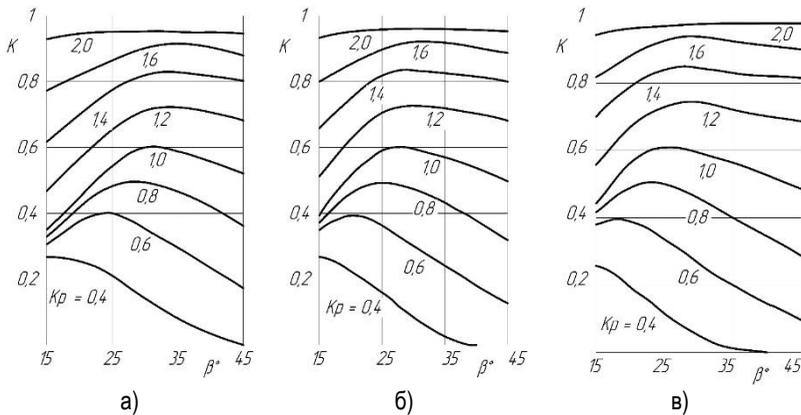


Рис. 1. Зависимость коэффициента передачи горизонтальной составляющей скорости от угла вибрации при $K_p = 0,4 \dots 2,0$ для различных коэффициентов трения: а) 0,6; б) 0,7; в) 0,8

На этапе полета из-за упругих деформаций слоев и фильтрации через них воздуха, материал разрыхляется, а на этапе падения, из-за наличия пустот и поверхностей скольжения на частицах, уплотняется вновь [14]. Воздухопроницаемость материала можно учесть коэффициентом воздухопроницаемости w ($0 \leq w \leq 1$). Тогда условие отрыва слоя тонкоизмельченного материала как целого тела примет вид:

$$K_p \geq 1 + w \frac{P}{h\gamma}. \quad (2)$$

При виброперемещении под слоями материала возникает разрежение, достигающее наибольших значений на этапе полета, а наименьших на этапе совместного движения [14]. Нередко при определенных соотношениях параметров вибрации наступает уплотнение слоя сыпучего материала и различное по величине уменьшение скорости виброперемещения [5; 8].

Для мелкодисперсных сыпучих материалов решение такой системы уравнений представляется довольно трудоемкой задачей. Поэтому для анализа движения слоя такого материала нужно воспользоваться упруго-вязко-пластичной механо-реологической моделью движения груза, а для оценки эффективности вибротранспортирования при использовании результатов прямых опытов по определению скорости виброперемещения использовать значение коэффициента передачи горизонтальной составляющей скорости.

Литература

1. *Блехман И. И.* Вибрационная механика. М.: Наука. 1994. 394 с.
2. *Архипенко А.В., Ниров А.Д.* Влияние коэффициента трения и угла вибраций на эффективность вибротранспортирования в режимах движения с подбрасыванием // Математические структуры и моделирование. 2023. № 3.
3. *Архипенко А.В.* Скольжение частиц грунта по рабочим органам вибромашин // Математические структуры и моделирование. 2023. № 1 (65). 113 с.
4. *Архипенко В.П.* Механико-технологические основы создания вибрационных машин для бункеризации, выпуска и контейнерной обработки: дисс. ... докт. техн. наук. Днепропетровск, 1996.
5. *Гончаревич И.Ф., Фролов К.В.* Теория вибрационной техники и технологии. М.: Наука, 1981. 244 с.
6. *Гончаревич И.Ф., Гудушаури Э.Г., Гаврилина Л.В.* Модернизация транспортно-перегрузочной техники методами вибротехнологий // Машиностроение и инженерное образование. 2014. № 2. С. 9–14.
7. Вибрация в технике: Справочник: в 6 т. / ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). М.: Машиностроение. Т. 2. Колебания нелинейных механических систем / под ред. И.И. Блехмана. 1979. 351 с.

8. *Бауман В.А., Быховский И.И.* Вибрационные машины и процессы в строительстве. М.: Высшая школа, 1977.
9. *Тропман А.Г., Бельков Н.И., Макеева Ю.Н.* Вибрационные конвейеры для транспортирования горячих материалов. М.: Машиностроение, 1972. 327 с.
10. *Быховский И.И.* Основы теории вибрационной техники. М.: Машиностроение, 1968. 362 с.
11. *Бельков Н.И.* Исследование закономерностей и особенностей вибрационного перемещения тонкоизмельченных сыпучих материалов: дисс. ... канд. техн. наук. Ленинград, 1974. 178 с.
12. *Бабичев А.П.* Технологическое применение колебаний или ... вибрационные технологии // Вестник ДГТУ. 2005. Т. 5, № 3 (25).
13. *Членов В.А., Михайлов Н.В.* Виброкипящий слой. М.: Наука, 1972.
14. *Архипенко А.В.* Фазы движения и аэродинамическая реакция виброслоя насыпного груза // Сборник научных трудов «Транспорт: наука, образование, производство». Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Т. 4. Ростов н/Д.: Ростовский государственный университет путей связи, 2018. С. 15–19.

И.А. Шевкун¹, А.Г. Масловская²

Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия

¹SPIN-код: 9716-0137; ²SPIN-код: 9406-4315

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ С КОЛОНИЗАЦИОННЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ: РЕАКЦИОННО-ДИФФУЗИОННОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ*

На современном этапе ростовые модели микроорганизмов заняли важное место в качестве объектов исследования в математической биологии и *in silico* исследованиях. Практическое применение такие модели находят в медицине, пищевых и промышленных технологиях, фармацевтики и других жизненно важных отраслях. Для моделирования эволюции микроорганизмов используют разнообразные подходы: агентные модели (метод частиц и клеточные автоматы), детерминированные модели на основе дифференциальных уравнений, вероятностные модели, реализуемые методом Монте-Карло. Один из базовых детерминированных подходов к имитации роста колонии микроорганизмов на питательных средах приставлен реакционно-диффузионной моделью, предложенной в [1]. Настоящая работа ориентирована на развитие реакционно-диффузионного подхода для моделирования бактериального роста на питательных средах и характеристику геометрических особенностей формируемых структур при варьировании управляющих параметров модели [2; 3]. Важным аспектом данной работы является *in silico* исследования и оценка характеристик роста микробной колонии, состоящей из нескольких популяций, при вариации уровня доступного питания.

Математическая модель реализует гибридный подход и формализуется системой нелинейных уравнений в частных производных:

* Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 122082400001-8.

$$\begin{cases} \frac{\partial n}{\partial t} = \Delta n - bn, \\ \frac{\partial b}{\partial t} = \nabla(\sigma nb \nabla b) + nb, \end{cases}$$

$$n(x, y, 0) = n_0(x, y), \quad b(x, y, 0) = \beta_0(x, y),$$

$$-L < x < L, \quad -L < y < L, \quad (1)$$

$$\left. \frac{\partial n}{\partial \mathbf{n}} \right|_{\Gamma} = 0, \quad \left. \frac{\partial b}{\partial \mathbf{n}} \right|_{\Gamma} = 0, \quad 0 < t \leq T,$$

где $n(x, y, t)$ – концентрация питательного вещества; $b(x, y, t)$ – концентрация популяции бактерий; $-L < x < L, -L < y < L, 0 < t \leq T$; $\sigma = \sigma_0(1 + \delta)$ – параметр модели, характеризующий концентрацию питательного вещества; δ – случайная величина, отвечающая за флуктуации концентрации биомассы при динамике колонии, $|\delta| < 1$, $\beta_0(x, y) = \beta_M \exp(-(x^2 + y^2)/C^2)$, β_M и C – параметры модели; Γ – граница расчетной области с линейным размером $2L$; \mathbf{n} – вектор внешней нормали к границе расчетной области.

Вычислительный алгоритм для решения задачи (1) строился на основе неявного метода Яненко. Полученные в результате аппроксимации системы линейных уравнений решались методом прогонки. Вычислительный алгоритм был реализован в ППП Matlab. Для расчетов были установлены следующие значения параметров: $\beta_M = 0.71$, $C = 2.5$, $L = 500$, $\sigma_0 = 1$, $n_0 = \{0.25, 0.9, 1.25\}$. Значение параметра δ в каждом узле аппроксимации генерировалось случайным образом с помощью треугольного распределения в пределах $(-1, 1)$. Значение времени наблюдения T выбиралось эмпирически для каждого набора параметров в диапазоне от 1000 до 10000. Результаты моделирования одновременного роста пяти бактериальных колоний при варьировании уровня доступного питания представлены на рис. 1.

Вычислительные эксперименты показывают, что модель (1) применима для моделирования одновременного роста множества бактериальных колоний, при этом наблюдаемый эффект отсутствия пересечения колоний согласуется с биологическим экспериментом [4]. Дальнейшее развитие модели направлено на учет явления запаздывания в биологической системе.

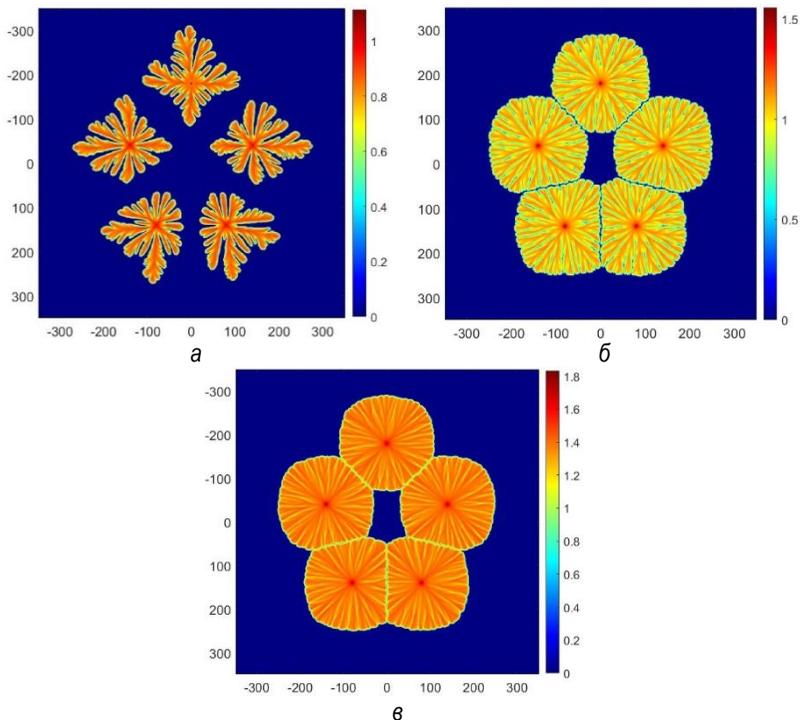


Рис. 1. Результаты моделирования одновременного роста пяти колоний при различном уровне начального питания:
а) $n_0 = 0.5$; б) $n_0 = 0.9$; в) $n_0 = 1.25$

Литература

1. *Kawasaki K.* Modeling spatio-temporal patterns generated by *Bacillus subtilis* // *Journal of Theoretical Biology.* 1997. No 188. P. 177–185.
2. *Шевкун И.А., Масловская А.Г.* Вариация моделей дендритоподобной морфологии бактериальных культур: численная реализация в рамках реакционно-диффузионного приближения // *Вестник АмГУ.* 2023. № 101. С. 30–39.
3. *Салмиянов В.О., Шевкун И.А., Масловская А.Г.* Адаптированные алгоритмы интеллектуальной спецификации скейлинговых характеристик морфологии культивированных бактерий // *Информатика и системы управления.* 2023. № 4 (78). С. 75–89.
4. *Be'er A.* Deadly competition between sibling bacterial colonies // *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2009. No. 106(2). P. 428–433.

Н.Н. Максимова¹, Пань Лисинь

Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия

¹SPIN-код: 8913-2824

**МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ ИММУНОТЕРАПИИ
НА ДИНАМИКУ
ХРОНИЧЕСКОГО ЛИМФОЛЕЙКОЗА***

Хронический лимфоцитарный лейкоз (ХЛЛ) характеризуется прогрессирующим накоплением фенотипически зрелых злокачественных В-лимфоцитов. Данный тип онкологических заболеваний относят к новообразованиям, основанным на клональной концепции, в которых учитывается рост делящихся опухолевых клеток. Поэтому, как правило, математические модели таких процессов основываются на задаче Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) [1]. Данный подход позволяет биоадекватно объяснить взаимодействие здоровых и опухолевых клеток, а также динамику заболевания в условиях химио- и иммунотерапии.

В работе представлена математическая модель динамики хронического лимфолейкоза при наличии лечения, направленного на укрепление иммунитета. Рассматривается взаимодействие между опухолевыми В-лимфоцитами и здоровыми Т-лимфоцитами. Представленная модель является модификацией модели, представленной в [2; 3]: предполагается, что рост опухолевых клеток происходит в соответствии с законом Гомперца. В остальном предположения модели остаются неизменными. Предполагается, что для лечения используется только иммунотерапия.

Обозначим: $N(t)$ – количество опухолевых клеток, $I(t)$ – количество «здоровых» иммунных клеток. Модель, описывающая

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект № 122082400001-8).

динамику заболевания в отмеченных предположениях, представляется системой ОДУ:

$$\begin{cases} \frac{dN(t)}{dt} = rN(t) \ln \frac{N_a}{N(t)} - c_1 N(t) I(t), \\ \frac{dI(t)}{dt} = s(t) + s_0 - gI(t) + \frac{\rho N(t) I(t)}{\gamma + N(t)} - c_2 N(t) I(t). \end{cases}$$

Все параметры модели неотрицательны и означают следующее: N_a – предельно возможное число больных клеток; r – скорость роста раковых клеток; c_1 и c_2 – коэффициенты взаимодействия между раковыми и иммунными клетками; s_0 – естественный приток иммунных клеток к месту взаимодействия; g – естественная скорость гибели иммунных клеток; ρ – скорость производства иммунных клеток, стимулированных раком; γ – количество раковых клеток, при котором ответ иммунной системы составляет половину от его максимального значения. Значения параметров, используемых в модели, представлены в [2; 3]. Значение параметра N_a примем равным 10^{12} клеток.

Зависящая от времени функция иммунотерапии $q(t)$ является кусочно-постоянной, так как описывает периодическое введение. Примем, что каждые два дня (т. е. на 1, 3, 5 и т. д. дни) пациенту вводится $6 \cdot 10^6$ иммунных клеток.

Для решения начальной задачи будем задавать начальные условия: $N(0) = N_0 > 0$, $I(0) = I_0 \geq 0$.

Будем варьировать начальное количество «больных» и «здоровых» клеток, а также количество курсов иммунотерапии, и исследуем динамику болезни. Численное моделирование выполняется в ППП MATLAB с помощью встроенной функции ode23. Результаты моделирования (в логарифмической шкале) представлены на рис. 1. Результаты вычислений показали, что при данных параметрах модели и выбранных начальных условиях трех и менее курсов иммунотерапии недостаточно для излечения болезни.

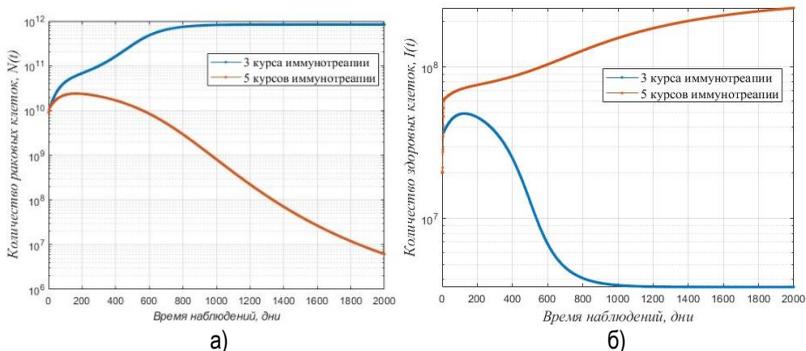


Рис. 1. Динамика развития лимфолейкоза без лечения:
 а – динамика изменения раковых клеток,
 б – динамика изменения «здоровых» клеток
 при $N(0) = 9 \cdot 10^9$ раковых клеток, $I(0) = 2 \cdot 10^7$ здоровых клеток

Литература

1. Гончарова А.Б., Колтак Е.П., Бучина Д.А. Математическая модель онкогенеза в концепции раковых стволовых клеток. Моделирование, оптимизация и информационные технологии // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2021. № 9(1). С. 1–13.
2. Rodrigues D.S., Mancera P.F.A., Carvalho T., Gonçalves L.F. A mathematical model for chemoimmunotherapy of chronic lymphocytic leukemia // Applied Mathematics and Computation. 2019. № 349. P. 118–133. DOI: 10.48550/arXiv.1806.05790.
3. Максимова Н.Н., Чепикова А.Ю. Исследование динамики хронического лимфолейкоза при иммуно- и химиотерапевтическом лечении: модель с запаздыванием // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2023. № 4. С. 5-18. DOI 10.17308/sait/1995-5499/2023/4/5-18

С.К. Саруханян

Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия
SPIN-код: 7843-5309

ПОДХОДЫ К ИНДЕКСАЦИИ ДВУМЕРНЫХ РЕШЕТОК КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ РОСТА БИОПЛЕНОК*

В настоящее время технологии компьютерного моделирования являются важнейшими составляющими современных междисциплинарных исследований. Это обусловлено непрерывным развитием вычислительных технологий и их повсеместной доступностью. В области математической биологии для прогнозирования состояния микробных систем активно применяют методы дискретно-динамического моделирования, в частности, агентное моделирование и теорию клеточных автоматов. Концепция дискретного моделирования микробных сообществ активно используется исследователями различных научных групп [1–3].

В данной работе рассматривается задача клеточно-автоматного моделирования роста бактериальной пленки за счет потребления питания. В основе методологического подхода лежит двумерный клеточный автомат и встроенная в дискретный алгоритм схема симуляции диффузионного процесса потребления бактериями питания [4–5]. Поскольку одной из важнейших основ построения клеточно-автоматной модели является выбор типа ячейки решетки, настоящее исследование предпринято с целью выявления особенностей индексации 2D решеток в задачах моделирования роста бактериальных пленок.

В клеточно-автоматных моделях область рассмотрения локализуется и дискретизируется – разбивается на простейшие элементы, в соответствии с типом геометрии ячейки. Предпочтительным является однообразие элементов и отсутствие углов по-

* Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 122082400001-8.

ворота для них, так как ячейки (а значит, и вся расчетная область) находятся в равных условиях с точки зрения применимости клеточно-автоматных правил. На рис. 1 представлены основные типы рассматриваемых ячеек с визуализацией векторов соседства и базисных векторов.

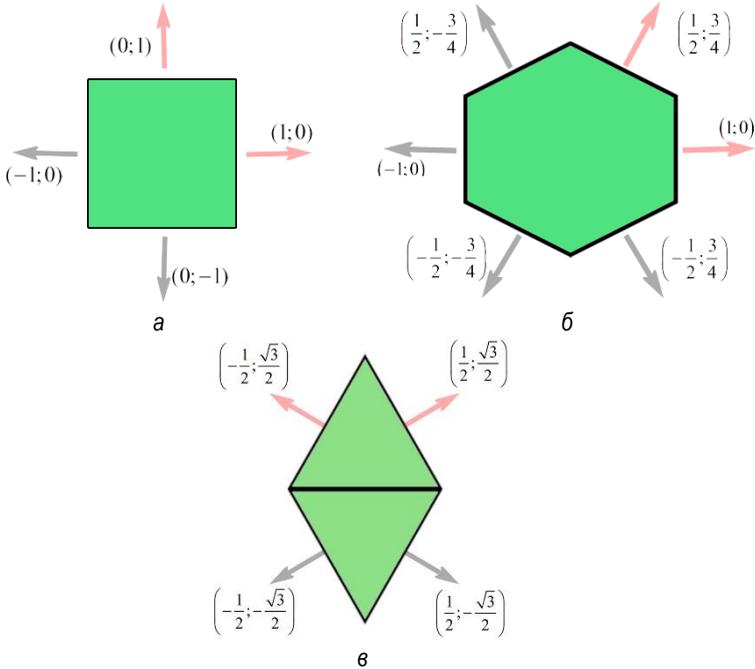


Рис. 1. Типы ячеек:
а) ортогональная, б) гексагональная, в) ромбическая

При индексации расчетной области, состоящей из ортогональных ячеек, сложностей не возникает, так как сама область также является ортогональной. При использовании других типов ячеек возникают сложности, например, при индексации в соответствии с базисными векторами возникают необозначенные области (отмечены розовым цветом), как показано на рис. 2 (а, б).

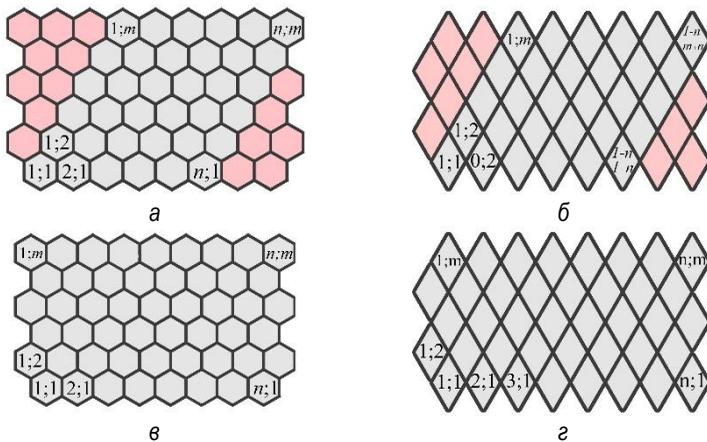


Рис. 2. Примеры неудачной (а, б) и удачной (в, г) индексации для гексагональной (а, в) и ромбической (б, г) решеток

Альтернативный способ заключается в индексации всей области с использованием процедуры горизонтального сдвига для всех слоев с четным индексом, как показано на рис. 2 (в, г). Рассмотренный для индексации метод позволяет значительно оптимизировать вычисления, избегая выделения памяти под неиспользуемые области. Пример результатов 2D симуляции бактериальных пленок с использованием различных типов ячеек клеточного автомата, в фиксированный момент представлен на рис. 3.

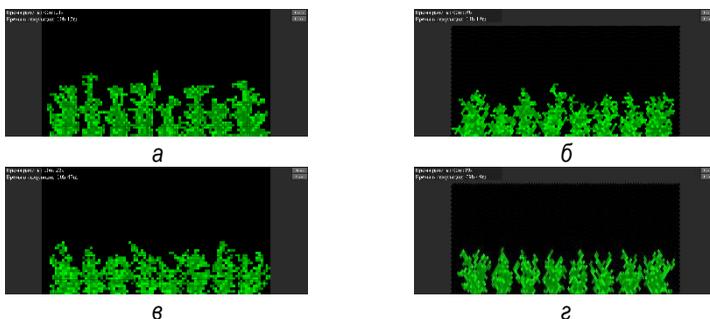


Рис. 3. Примеры симуляции биопленки с использованием различных типов решеток клеточного автомата:
 а) ортогональная, б) гексагональная,
 в) ортогональная с диагональными соседями, г) ромбическая

Литература

1. *Picioroani C.* Particle-based multidimensional multispecies biofilm model // *Appl. Environ. Microbiol.* 2004. Vol. 70 (5), P. 3024–40.
2. *Бандман О.Л.* Клеточно-автоматные модели пространственной динамики // *Системная информатика.* 2005.
3. *Rodriguez D.* Biofilm growth on rugose surfaces // *Physical Review.* 2012. Vol. 86 (6). P. 061914.
4. *Саруханян С.К., Масловская А.Г.* Простейший клеточный автомат для моделирования поверхностного роста бактерий // *Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки.* 2022. № 99. С. 15–22.
5. *Саруханян С.К., Масловская А.Г.* Алгоритм клеточно-автоматного моделирования 2D эволюции бактериальных пленок в процессе непрерывного культивирования // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии.* 2023. № 4. С. 19–30.

Линь Вейкай, Л.И. Мороз

*Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия
SPIN-код: 6169-4129*

ОБЗОР МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЯХ*

В настоящее время исследование процессов распределения температуры в биологических тканях играет важную роль в медицине. Достижения в этой области нашли свое применение в диагностике и гипертермической терапии злокачественных опухолей, криогенной хирургии [1–5]. Распределение тепла в биологических тканях можно измерить с помощью инфракрасного термографа. Отметим, что полученные результаты представляют собой изображения только поверхности распределения температуры. Кроме того, точность таких результатов не всегда достаточно высокая [1]. Поэтому использование математических моделей при исследовании тепловых процессов является актуальной задачей. При моделировании тепловых процессов в биотканях требуется учитывать большое количество факторов: неоднородность и анизотропию тканей, проводимость, конвекцию теплового потока, клеточный метаболизм, перфузию крови и т. д. В большинстве моделей такого рода лежит уравнение Пеннеса (уравнение биотепла), которое представляет собой классическое уравнение теплопроводности с учетом влияния кровотока и метаболического тепла на баланс энергии в тканях [2; 3]. Модель базируется на ряде допущений: не учитывается теплообмен между кровью и тканью в преартериолах и поственулах; пренебрегают направлением кровотока и локальной геометрией сосудов.

В рамках настоящей работы рассмотрим основные модификации континуальной модели Пеннеса для описания распределения температуры в злокачественных образованиях.

* Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 122082400001-8.

Классическое уравнение Пеннеса формализуется в виде уравнения в частных производных параболического типа:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(k \cdot \nabla T) + \rho_b w_b c_b (T_b - T) + Q_{met} + Q_{ext} = 0, \quad (1)$$

где T – температура ткани, К; t – время, с; ρ – плотность биологической ткани, кг/м³; c – удельная теплоемкость ткани, Дж/кг·К; k – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К; ρ_b – плотность крови, кг/м³; c_b – удельная теплоемкость крови, Дж/кг·К; w_b – скорость перфузии крови; T_b – температура крови, К; Q_{met} – объемная скорость метаболического тепловыделения, Вт/м³, Q_{ext} – объемная скорость воздействия внешнего теплового источника, Вт/м³. Подобное уравнение (1) лежит в основе математической модели распределения температуры в злокачественной опухоли в окружении здоровой ткани, обработанной лазером в сочетании с индоцианином зеленым [3].

В работе [4] для моделирования динамики температуры в злокачественном новообразовании при воздействии узконаправленного теплового источника на основе модифицированного закона Фурье предложено гиперболическое уравнение Пеннеса:

$$\rho C \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \tau \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} \right) = \nabla(k \cdot \nabla T) + \rho_b w_b c_b (T_b - T) + Q_{met} + Q_{ext} = 0, \quad (2)$$

где постоянная τ определяет задержку между тепловым потоком и градиентом температуры. Математическую модель на основе уравнения можно рассматривать как усовершенствование модели Пеннеса с учетом волновой природой тепла, которая вносит существенный вклад в распространение тепла при высоких температурах.

В работе [5] предлагают рассматривать модель Пеннеса с дробной производной по времени. Это объясняется тем, что дробная производная по времени позволяет учитывать эффекты памяти.

$$\rho C \frac{\partial^\alpha T}{\partial t^\alpha} = \nabla(k \cdot \nabla T) + \rho_b w_b c_b (T_b - T) + Q_{met} + Q_{ext} = 0, \quad (3)$$

где α – порядок дробной производной.

Заметим, что в литературе также представлена модификация уравнения (3) с дробной производной по координате, введение которой обуславливают фрактальным строением среды.

В каждом из вышеперечисленных примеров математическая постановка задачи замыкается соответствующими начальными и граничными условиями.

Литература

1. *Shao Q, Lundgren M, Lynch J, Jiang M, Mir M, Bischof J, Nelson M.* Tumor therapeutic response monitored by telemetric temperature sensing, a preclinical study on immunotherapy and chemotherapy // *Sci Rep.* 2023. Vol. 12. I. 13(1). P. 7727.
2. *Жеребцова А.И.* Аналитический обзор математических моделей взаимосвязи параметров кровоснабжения и кожной температуры // *Приборостроение и биотехнические системы.* 2015. №. 5 (313). С. 104–113.
3. *Xu Y. et al.* Mathematical simulation of temperature distribution in tumor tissue and surrounding healthy tissue treated by laser combined with indocyanine green // *Theoretical Biology and Medical Modelling* Theoretical Biology and Medical Modelling. 2019. Vol. 16. P. 1–11.
4. *Aijaz M. et al* Temperature distribution in tumour tissue during targeted destruction by heat: a hyperbolic bioheat equation approach // *Case Studies in Thermal Engineering.* 2023. Vol. 50. P. 10491.
5. *Farayola et al.* Mathematical modeling of cancer treatments with fractional derivatives: An Overview // *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences.* 2021. Vol. 17. P. 389–401.

Д.Н. Бухаров¹, А.И. Зотов

*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,
г. Владимир, Россия*

¹SPIN-код: 9141-6061

МОДЕЛИРОВАНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ СИЛЫ ТОКА НА НАНОКЛАСТЕРНОЙ ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ ТЕЛЛУРИДА СВИНЦА

Нанокластерные структуры теллурида свинца находят широкое применение в современной электронике благодаря наличию уникальных электрофизических и оптических свойств [1; 2]. В частности, тенденцией к увеличению силы тока, обусловленной топологией, обладают нанокластеры теллурида свинца, полученные в результате твердофазной лазерной модификации эпитаксиальной пленки [3]. Так, исследованные нами образцы [3] обладали фрактальной дендритной структурой. Исследование их вольт-амперных характеристик четырехзондовым методом продемонстрировало увеличение силы тока на значения порядка 1,2-1, 5 с тенденцией к увеличению в 2 раза и даже на несколько порядков в зависимости от топологии, масштаба, размеров и концентрации нанокластеров на поверхности [4].

Для описания наблюдаемых особенностей была предложена модель структуры в приближении диффузионно-ограниченной агрегации (DLA) [5]. Модель была реализована в рамках клеточного автомата с окрестностью Неймана, когда частица блуждала случайным образом и с определенной вероятностью агрегировала с расположенной ранее структурой. Коэффициент увеличения силы тока оценивался исходя из отношения плотностей тока на смоделированном фрактале и на круге его наименьшего покрытия с радиусом, оцененным как половина величины химического расстояния [6]. Предложенная модель была реализована в MATLABв относительных единицах. Варьирование вероятности агрегации и начального распределения зародышевых структур позволило смоделировать фрактальные фигуры с различной структурой.

На рис. 1 приведено изображение единичной крупной фрактальной фигуры (рис. 1а) в приближении DLA и системы изолированных кластеров при варьировании их величины и расстояния (рис. 1б–г). Так, на рис. 1б приведена система из достаточно крупных сильно удаленных друг от друга кластеров. На рис. 1в смоделировано небольшое число кластеров средней величины со средней степенью удаленности друг от друга. На рис. 1г – система из множества мелких кластеров, расположенных близко друг к другу.

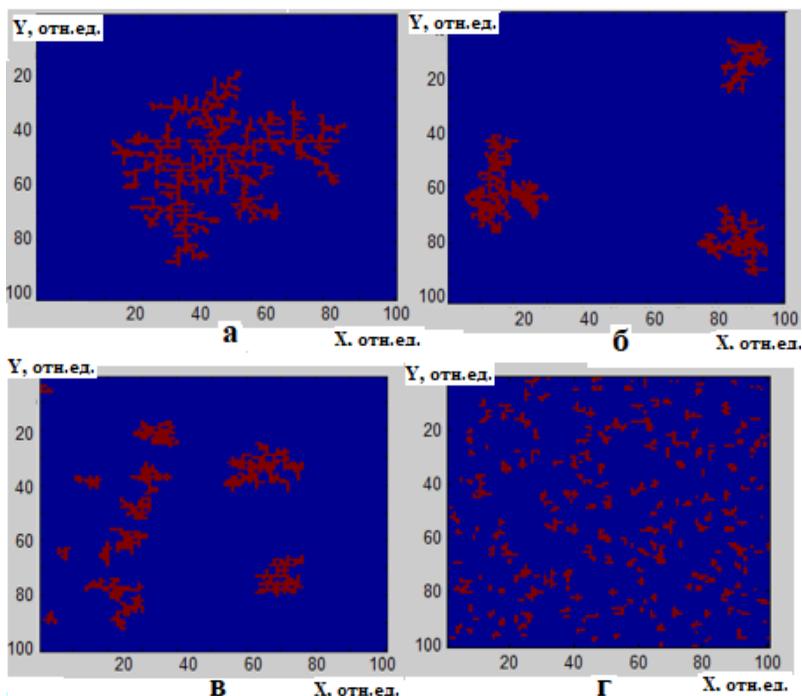


Рис. 1. Модельные структуры:

- а) крупный единственный кластер, б) система крупных сильно удаленных друг от друга кластеров; в) система кластеров средней величины со средней степенью удаленности друг от друга; г) система из множества мелких кластеров, расположенных близко друг к другу

На рис. 2 приведены результаты расчета коэффициента усиления для моделей из рис. 1. Из приведенных расчетов можно сделать заключение о том, что коэффициент усиления увеличивается по мере увеличения количества островков и уменьшения их радиуса и расстояния между ними.

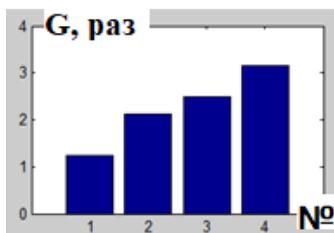


Рис. 2. Коэффициенты усиления для моделей а–г из рис. 1

Сравнение результатов моделирования с результатами измерений и другими моделями показали хорошую адекватность предложенных модельных приближений.

Литература

1. *Lin He, Bozin E., Billinge S., Quarez E., Kanatzidis M.* Nanoscale clusters in the high performance thermoelectric $\text{AgPb}_{m}\text{SbTe}_{m+2}$ // *Phys. Rev. B.* 2005. Vol. 72. № 17.
2. *Штерн М.Ю., Шерченков А.А., Штерн Ю.И., Розачев М.С., Бабич А.В.* Термоэлектрические свойства и термическая стабильность наноструктурированных термоэлектрических материалов на основе PbTe , GeTe и SiGe // *Российские нанотехнологии.* 2021. Т. 16, № 3. С. 399–408.
3. *Bukharov D., Kucherik A., Arakelian S.* Nanocluster fractal electrical conductivity in thin films on a solid surface: dimensional models of different configurations and demonstration of results in a laser experiment // *JAMT.* 2023. Vol. 8, no. 3. P. 227–251.
4. *Аракелян С.М.* Введение в фемтонаннофотонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов: учеб. пособие. М.: Логос, 2015.
5. *Mroczka J., Woźniak M., Onofri F.R.A.* Algorithms and methods for analysis of the optical structure factor of fractal aggregates // *Metrol. Meas. Syst.* 2012. Vol. XIX, no. 3. P. 459–470.
6. *Иудин Д.И.* Фракталы: от простого к сложному. Н. Новгород: ННГАСУ, 2012.

А.В. Глубоких, В.П. Голубятников¹

*Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

¹SPIN-код: 8809-8343

НЕЛОКАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И «СПРЯТАННЫЕ АТТРАКТОРЫ» В МОДЕЛЯХ ГЕННЫХ СЕТЕЙ*

Рассматривается модель трёхкомпонентной кольцевой генной сети, представленная в виде динамической системы относительно неотрицательных функций $x_j(t)$, описывающих концентрации компонент этой сети. Здесь и далее $j = 1, 2, 3$.

$$\frac{dx_1}{dt} = L(x_3) - x_1, \quad \frac{dx_2}{dt} = L(x_1) - x_2, \quad \frac{dx_3}{dt} = L(x_2) - x_3. \quad (1)$$

Так же, как и в [1–3], ступенчатая монотонно убывающая функция L описывает отрицательные регуляторные связи между компонентами моделируемой генной сети; здесь она определяется следующим «двухступенчатым» образом:

$$\begin{aligned} L(w) &= 2a \text{ при } 0 \leq w < a - \varepsilon; \\ L(w) &= a \text{ при } a - \varepsilon \leq w < a + \varepsilon; \\ L(w) &= 0 \text{ при } a + \varepsilon \leq w; \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $a > \varepsilon > 0$. Подобные многоступенчатые связи в генных сетях изучались в [4]. Так же, как и в [2; 5], проверяется, что положительном октанте пространства переменных x_j куб $Q = [0, 2a] \times [0, 2a] \times [0, 2a]$ положительно инвариантен, то есть траектории его точек не выходят из него с ростом t . Разобьём Q плоскостями $x_j = a - \varepsilon$, $x_j = a + \varepsilon$, на 27 блоков и занумеруем эти блоки трёхсимвольными мульти-индексами $(0, 1, 2)$: блок $\{s_1 s_2 s_3\} \subset Q$ задаётся неравенствами $0 \leq x_j < a - \varepsilon$, если $s_j = 0$; неравенствами $a - \varepsilon \leq x_j < a + \varepsilon$, если $s_j = 1$; и неравенствами $a + \varepsilon \leq x_j$ при $s_j = 2$. В каждом из этих блоков система

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00019, <https://rscf.ru/project/23-21-00019/>.

(1), (2) распадается на три линейных уравнения; в блоке {111} она принимает вид

$$\frac{dx_1}{dt} = a - x_1, \frac{dx_2}{dt} = a - x_2, \frac{dx_3}{dt} = a - x_3.$$

Лемма. Точка $S_0 \in \{111\}$ с координатами $x_1 = x_2 = x_3 = a$ является устойчивой стационарной точкой системы (1), (2); других стационарных точек эта система не имеет.

Система (1), (2) симметрична относительно циклических перестановок переменных $\sigma: x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow x_3 \rightarrow x_1$. Пусть $W \subset Q$ – объединение блоков, указанных в кольцевой диаграмме

$$\begin{aligned} & \dots \rightarrow \{220\} \rightarrow \{210\} \rightarrow \{200\} \rightarrow \{201\} \rightarrow \\ & \rightarrow \{202\} \rightarrow \{102\} \rightarrow \{002\} \rightarrow \{012\} \rightarrow \{022\} \rightarrow \\ & \rightarrow \{021\} \rightarrow \{020\} \rightarrow \{120\} \rightarrow \{220\} \rightarrow \dots \end{aligned} \quad (3)$$

В отличие от куба Q , многогранная область W не является инвариантной.

Траектории точек грани $F_0 = \{120\} \cap \{220\}$, лежащие достаточно далеко от её ребра $x_3 = a - \varepsilon$, с ростом t переходят на грань $F_1 = \{220\} \cap \{210\}$, далее на грань $F_2 = \{210\} \cap \{200\}$, на грань $F_3 = \{200\} \cap \{201\}$, и далее на грани F_m , разделяющие соседние блоки, перечисленные в диаграмме (3), $m = 0, 1, \dots, 11$; $F_{12} = F_0$. Сдвиги с грани на грань вдоль траекторий системы (1) несложным образом описываются дробно-линейными функциями, как и в [3; 5], а также в [1; 7], где изучались случаи «одноступенчатых» функций L . Из такого аналитического представления вытекает

Теорема. Если $a > 6\varepsilon$, то область W содержит по крайней мере один цикл C системы (1), (2), который проходит по блокам диаграммы (3) согласно её стрелкам и симметричен относительно перестановок σ . Количество таких симметричных циклов не может быть больше двух. У этой системы нет циклов, несимметричных относительно перестановок σ .

Цикл C – типичный пример нелокальных колебаний ([8]) в фазовом портрете системы (1), поскольку единственная её стационарная точка S_0 устойчива и является «спрятанным аттрактором», см. [9]. Вычислительные эксперименты согласуются с описанными выше утверждениями.

Литература

1. *Glass L., Pasternack J.C.* Stable oscillations in mathematical models of biological control systems // *Journal of Mathematical Biology*. 1978. Vol. 6. P. 207–223.
2. *Ауурова Н.В., Голубятников В.П.* On the uniqueness of a cycle in an asymmetric three-dimensional model of molecular repressilator // *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. 2014. Vol. 8, № 2. P. 1–6.
3. *Golubyatnikov V.P., Kalenykh A.E.* Structure of phase portraits of nonlinear dynamical systems // *Journal of Mathematical Sciences*. 2016. Vol. 215, № 4. P. 475–483.
4. *Чураев Р.Н.* Метод обобщённых пороговых моделей для анализа динамики эукариотических молекулярно-генетических систем управления. Уфа: УНЦ РАН, препринт, 1993.
5. *Golubyatnikov V.P., Ivanov V.V.* Cycles in the odd-dimensional models of circular gene networks // *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. 2018. Vol. 12, №. 4. P. 648–657.
6. *Акинъшин А.А., Голубятников В.П., Голубятников И.В.* О некоторых многомерных моделях функционирования генных сетей // *Сибирский Журнал Индустриальной Математики*. 2013. Т. 16, № 1. С. 3–9.
7. *Казанцев М.В.* О некоторых свойствах графов доменов динамических систем // *Сибирский Журнал Индустриальной Математики*. 2015. Т. 18, № 4. С. 42–49.
8. *Плисс В.А.* Нелокальные проблемы теории колебаний. М.: Наука. 1964.
9. *Dudkowski D., Prasad A., Kapitaniak T.* Perpetual points and hidden attractors in dynamical Systems // *Physics Letters A*, 2015, Vol. 379, iss. 40–41, 06.002.

Н.Б. Аюпова¹, Е.П. Волокитин², В.П. Голубятников³

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

¹SPIN-код: 2401-4899; ²SPIN-код: 4980-9424; ³SPIN-код: 8809-8343

НЕЕДИНСТВЕННОСТЬ НЕЛОКАЛЬНЫХ ЦИКЛОВ В 3D МОДЕЛИ МОЛЕКУЛЯРНОГО РЕПРЕССИЛЯТОРА*

Рассматривается блочно-линейная динамическая система размерности 3, моделирующая простейший молекулярный репрессиллятор, см. [1–3],

$$\frac{dx_j}{dt} = L(x_{j-1}) - x_j;$$

здесь и далее $j = 1, 2, 3; j - 1 = 3$ при $j = 1$. (1)

Неотрицательные искомые функции $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$ описывают концентрации компонент моделируемой геной сети, монотонно убывающая функция L соответствует отрицательным связям между этими компонентами. Следуя [4; 5], где изучались обобщённые пороговые функции, регулирующие такие геновые сети, функцию L будем считать «пятиступенчатой»:

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

Предполагается, что $c > \varepsilon > \delta > 0$. В положительном октанте пространства переменных x_j область $Q = [0, 2c] \times [0, 2c] \times [0, 2c]$ инвариантна относительно положительных сдвигов вдоль траекторий системы (1), (2). Разобьём её пятнадцатью плоскостями $x_j = c - \varepsilon$, $x_j = c - \delta$, $x_j = c$, $x_j = c + \varepsilon$, $x_j = c + \delta$

* Работа выполнена в рамках Государственного Задания Института математики им. С.Л.Соболева СО РАН, FWNF-2022-0009 и FWNF-2022-0005.

на 216 блоков, в каждом из которых система (1) распадается на три независимых линейных уравнения. Занумеруем эти блоки шести-символьными мульти-индексами $(\alpha, A, 0, 1, B, \beta)$: блок $\{s_1 s_2 s_3\} \subset Q$ задаётся неравенствами $0 \leq x_j < c - \varepsilon$, если $s_j = \alpha$; неравенствами $c - \varepsilon \leq x_j < c - \delta$, если $s_j = A$; неравенствами $c - \delta \leq x_j < c$, если $s_j = 0$; неравенствами $c \leq x_j < c + \delta$ при $s_j = 1$; неравенствами $c + \delta \leq x_j < c + \varepsilon$ при $s_j = B$; неравенствами $c + \varepsilon \leq x_j$ при $s_j = \beta$. В работах [2,3,6] изучались случаи «одноступенчатых» функций L . Куб $\hat{Q} = [c - \varepsilon, c + \varepsilon] \times [c - \varepsilon, c + \varepsilon] \times [c - \varepsilon, c + \varepsilon] \subset Q$, а также куб $\tilde{Q} = [c - \delta, c + \delta] \times [c - \delta, c + \delta] \times [c - \delta, c + \delta] \subset \hat{Q}$ являются положительно инвариантными областями для системы (1), (2). Обозначим через $W_1 \subset \tilde{Q}$ объединение шести блоков, перечисленных в диаграмме

$$\begin{aligned} & \dots \rightarrow \{011\} \rightarrow \{010\} \rightarrow \{110\} \rightarrow \\ & \rightarrow \{100\} \rightarrow \{101\} \rightarrow \{001\} \rightarrow \{011\} \rightarrow \dots \end{aligned} \quad (3)$$

и через $W_2 \subset \hat{Q} \setminus \tilde{Q}$ – объединение блоков, перечисленных в диаграмме

$$\begin{aligned} & \dots \rightarrow \{BBA\} \rightarrow \{B1A\} \rightarrow \{B0A\} \rightarrow \{BAA\} \rightarrow \\ & \rightarrow \{BA0\} \rightarrow \{BA1\} \rightarrow \{BAB\} \rightarrow \{1AB\} \rightarrow \\ & \rightarrow \{0AB\} \rightarrow \{AAB\} \rightarrow \{A0B\} \rightarrow \{A1B\} \rightarrow \\ & \rightarrow \{ABB\} \rightarrow \{AB1\} \rightarrow \{AB0\} \rightarrow \{ABA\} \rightarrow \\ & \rightarrow \{0BA\} \rightarrow \{1BA\} \rightarrow \{BBA\} \rightarrow \dots \end{aligned} \quad (4)$$

Теорема. Область W_1 является инвариантной и содержит в точности один цикл C_1 системы (1), (2), который проходит по блокам диаграммы (3) согласно её стрелкам.

Если $c > 10\varepsilon$, то область W_2 содержит по крайней мере один цикл C_2 системы (1), (2), который проходит по диаграмме (4) согласно её стрелкам.

Если $\varepsilon > 10\delta$, то область $Q \setminus \hat{Q}$ содержит по крайней мере один цикл C_3 системы (1), (2).

Циклы C_1, C_2, C_3 симметричны относительно циклических перестановок переменных. Асимметричных циклов система (1), (2) не имеет.

Цикл C_1 экспоненциально устойчив, и других циклов область W_1 не содержит, см. [7]. Третий цикл C_3 содержится в объединении 30 блоков, граничащих с рёбрами $\{x_1 = 2c; x_3 = 0\}$;

$\{x_1 = 2c; x_2 = 0\}$; $\{x_2 = 0; x_3 = 2c\}$; $\{x_1 = 0; x_3 = 2c\}$;
 $\{x_1 = 0; x_2 = 2c\}$; $\{x_2 = 2c; x_3 = 0\}$ куба Q , и проходит по этим блокам в соответствии со стрелками диаграммы, аналогичной (3), (4).

Циклы C_2 и C_3 являются примерами нелокальных колебаний ([8]) в фазовом портрете системы (1), (2). Проведены вычислительные эксперименты, иллюстрирующие Теорему. Ранее неединственность периодических траекторий у подобных моделей генных сетей наблюдалась только в старших размерностях, начиная с пяти, см. [9; 10].

Литература

1. *Ayupova N.B., Golubyatnikov V.P.* On the uniqueness of a cycle in an asymmetric three-dimensional model of molecular repressilator // *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. 2014. Vol. 8, № 2. P. 1–6.
2. *Golubyatnikov V.P., Ivanov V.V.* Cycles in the odd-dimensional models of circular gene networks // *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. 2018. Vol. 12, № 4. P. 648–657.
3. *Golubyatnikov V.P., Minushkina L.S.* Monotonicity of the Poincaré mapping in some models of circular gene networks // *Journal of Applied and Industrial Math*. 2019. Vol. 13, № 3. P. 472–479.
4. *Tchuraev R.N.* A new method for the analysis of the dynamics of the molecular genetic control systems. I. Description of the method of generalized threshold models // *Journal Theor. Biology*. 1991. Vol. 151. P. 71–87.
5. *Galimzyanov A.V., Tchuraev R.N.* Dynamic mechanism of phase variation in bacteria based on multistable gene regulatory networks // *Journal of Theoretical Biology*. 2022. Vol. 549, 111212.
6. *Glass L., Pasternack J.C.* Stable oscillations in mathematical models of biological control systems // *Journal of Mathematical Biology*. 1978. Vol. 6. P. 207–223.
7. *Иванов В.В.* Притягивающий предельный цикл модели нечётномерной кольцевой генной сети // *Сибирский Журнал Индустриальной Математики*. 2022. Т. 25, № 3. С. 25–32.
8. *Плисс В.А.* Нелокальные проблемы теории колебаний. М.: Наука. 1964.
9. *Акиншин А.А.* Бифуркация Андронова-Хопфа для некоторых нелинейных уравнений с запаздыванием // *Сиб. Журнал Индустриальной Математики*. 2013. Т. 16, № 3. С. 3–15.
10. *Golubyatnikov V.P., Gradov V.S.* Non-uniqueness of cycles in piecewise-linear models of circular gene networks // *Siberian Advances in Mathematics*. 2021, Vol. 31, № 1. P. 1–12.

А.Д. Смирнова, Л.Т. Рязанцева¹

*Северо-Западный государственный медицинский университет
им. И.И. Мечникова, г. Санкт-Петербург, Россия*

¹SPIN-код: 7472-9150

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ LUR-МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Одним из основных факторов внешней среды, оказывающих влияние на здоровье людей, является загрязнение атмосферного воздуха, поэтому вопросы о разработке и усовершенствовании моделей, описывающих пространственное распределение загрязнения в атмосфере, не теряют актуальность. Большинство методов мониторинга загрязненности воздуха, используя данные постов наблюдения, не могут полностью учесть пространственные неоднородности распределения загрязняющих веществ вследствие малого количества постов измерений. Для улучшения пространственного разрешения целесообразно использовать LUR-модели, объединяющие в себя натуральные измерения загрязненности воздуха в малом количестве точек города, а также возможность прогнозирования загрязненности в любом месте города. LUR-метод может использоваться для моделирования распространения любого типа загрязнителя, причем как для измерений, где установлены фиксированные места отбора проб, так и для измерений, полученных в результате мобильного мониторинга.

LUR-моделирование отличается не просто изучаемым местоположением и связанными с ним особенностями, но и выбором ГИС-переменных и последовательности исследования, при этом во всех исследованиях процесс моделирования состоит из двух этапов (рис. 1).

Как правило, LUR-модель включает 3–8 переменных-предикторов [1]. Некоторые переменные в LUR-моделях определяются в местах взятия проб для круговых буферных зон. На рис. 2 показаны буферные зоны разного размера. Выбранный размер

буферных зон должен основываться на данных о вероятном рассеянии загрязняющих веществ и предположениях о влиянии на него выбранных переменных-предикторов.



Рис. 1. Алгоритм разработки LUR-модели

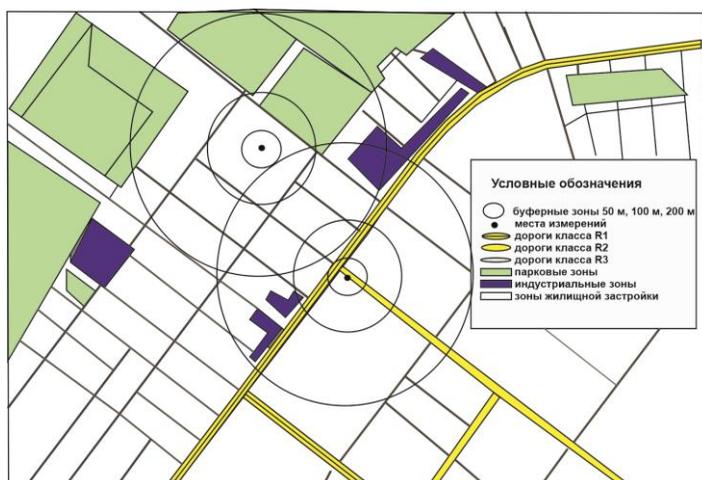


Рис. 2. Определение переменных-предикторов в местах отбора проб

В результате статистического анализа полученных переменных-предикторов и их связи с изменением концентраций загрязняющих веществ в воздухе создается регрессионная модель, уравнение которой может быть использовано для определения концентрации загрязняющего вещества в любой точке местности с известными ГИС-переменными, то есть в любой точке города:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_n \cdot X_n,$$

где Y – концентрация загрязняющего вещества, X_1, X_2, \dots, X_n – переменные-предикторы, b_0, b_1, \dots, b_n – коэффициенты модели.

Важно при создании модели уделять больше внимания на изучение факторов, влияющих на увеличение изменчивости, например, использовать в качестве переменных такие метеорологические характеристики, как силу и направление ветра.

Литература

1. *Hoek G., Vienneau D., Eeftens M., Dimakopoulou K., Pedeli X.* Development of NO₂ and NO_x land use regression models for estimating air pollution exposure in 36 study areas in Europe e The ESCAPE project // *Atmos Environ.* 2013. № 72.

Н.А. Моисеева¹, Т.А. Полякова²

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

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

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

На современном этапе в условиях развития цифровой экономики широкое распространение и экспоненциальный рост доступных данных сделали их слишком большими по объему и размерности, чтобы специалист мог проводить их анализ напрямую. В связи с чем, регрессионный анализ, позволяющий делать выводы и прогнозы на основе колоссального объема собранных технических данных, становится незаменимым инструментом для выполнения научно-исследовательских проектов в самых разных областях производственной деятельности. Методы корреляционно-регрессионного анализа, являющиеся неотъемлемым компонентом *предикативной аналитики*¹, позволяют решать целый ряд задач, связанных с изучением влияния различных факторов на то или иное явление или процесс, в том числе в промышленности [1]. Поскольку регрессионный анализ выступает в качестве основы «для прогнозирования поведения случайного явления за пределами данных» [2, с. 38], то методы корреляционно-регрессионного анализа широко применимы при «установлении научно обоснованных плановых показателей производственных процессов, обеспечивающих эффективную работу» технических объектов.

Подобные задачи возникают при организации и управлении работой автотранспорта, при строительстве дорог, зданий и сооружений, планировании различных производственных про-

¹ **Предикативное (предсказательная) аналитика** – это совокупность методов статистики, анализа данных и теории игр, используемых для анализа данных с целью получения информации об исследуемых объектах в будущем.

цессов и т. д. Во всех случаях, как правило, требуется выяснить не только связь изучаемого явления с предполагаемыми факторами, но и установить ее интенсивность и направление, а также определить степень влияния данных факторов. Установление аналитической зависимости между изучаемыми факторами – *основная задача регрессионного анализа*. Включение таких задач в процесс обучения студентов соответствующих направлений специализации во многом будет способствовать освоению ими обозначенной техники анализа данных и, как следствие, формированию у них одной из ключевых компетенций цифровой экономики – управление информацией и данными [3]. Например, в строительстве по результатам исследования прочности бетона ультразвуковым методом строится так называемая градуировочная зависимость изучаемых параметров, связывающая «прочность бетона с косвенным показателем (скоростью, временем распространения ультразвука или другими показаниями прибора при измерении прочности)» [4]. Универсальная градуировочная зависимость, построенная по результатам испытаний конструкций из бетона проектных классов В7,5-В35 может быть представлена уравнением линейной регрессии $R = 0,016 \cdot V - 27,3$, где R – прочность бетона (в МПа), V – скорость ультразвуковых волн (в м/с) [4].

Важно отметить, что для построения и исследования подобных зависимостей необходимо обработать огромные массивы данных, полученные в результате проведенных измерений. Для оптимизации такой работы на современном этапе широкое применение находят средства информационно-коммуникационных технологий, используемые для построения информационно-математических моделей рассматриваемых явлений и процессов с целью их последующего анализа и исследования [5]. Так, к числу «цифровых онлайн-сервисов, функционал которых дает возможность строить аналитические зависимости между изучаемыми факторами при проведении регрессионного анализа, направленного на получение математических моделей рассматриваемых технических процессов и явлений» [5], можно отнести цифровые сервисы для обработки и исследования статистических данных, например, встроенная математическая статистика онлайн-сервиса WolframAlpha (<https://www.wolframalpha.com/>); цифровая

платформа GoogleColaboratory (<https://colab.research.google.com/>) для проведения статистических вычислений и анализа данных с помощью языков программирования R и Python.

Литература

1. *Максимов В.* Промышленное применение предиктивной аналитики. URL: <https://www.connect-wit.ru/promyshlennoe-primenenie-prediktivnoj-analitiki.html>.
2. *Чибирова М.Э.* Анализ данных и регрессионное моделирование с применением языков программирования Python и R // Научные записки молодых исследователей. 2019. Т. 7, № 2. С. 37–45.
3. Об утверждении методик расчета показателей федерального проекта «Кадры для цифровой экономики» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Приказ от 24 января 2020 г. N 41. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minekonomrazvitiya-Rossii-ot-24.01.2020-N-41/>
4. Межгосударственный стандарт ГОСТ 17624-2012 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности» (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 1972-ст). URL: <https://tehnolen.ru/osnovnye-metody-opredeleniya-prochnosti-tyazhelogo-betona-na-szhatie-v-sbornyh-i/>
5. *Моисеева Н.А., Полякова Т.А., Шишова Т.А.* Цифровые сервисы в решении задач информационно-математического моделирования // Методика преподавания математических и естественно-научных дисциплин: современные проблемы и тенденции развития: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. Омск: Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 2022. С. 123–128.
6. *Моисеева Н.А., Полякова Т.А.* Цифровые сервисы для статистической обработки данных // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов X Международной научной конференции. Омск: Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 2023. С. 204–207.

Секция
«Компьютерные технологии»

УДК 004.055

П.Н. Большакова

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

**РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ
ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХ КУРСОВ
С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАСШИРЕНИЯ**

Научно-технический прогресс последних десятилетий принес не только глобализацию экономики и всемирное распространение технологий, но и изменения в социальных отношениях, культуре и образовании. Быстрое развитие информационных технологий несет в себе огромный потенциал улучшения качества жизни. Тем самым это дает возможность повысить квалификацию и вовлечь каждого в активную общественную жизнь.

В настоящее время дистанционное обучение завоевало доверие как действенный, образовательно обоснованный и жизнеспособный альтернативный подход к преподаванию и обучению, равный по стандарту к традиционному.

Однако есть пользователи, которые по-прежнему испытывают существенные трудности при взаимодействии с современными информационными технологиями. Они вынуждены преодолевать большой порог вхождения, осваивать не самые простые дополнительные инструменты и нетривиальные способы взаимодействия с компьютерной техникой, а также постоянно сталкиваются с неудобными или просто неработоспособными интерфейсами.

В сфере образования технологии поддержки и помощи учащимся с ограниченными возможностями все чаще включают в себя компьютерные приложения. Информационные и коммуникационные технологии расширили область вспомогательных технологий, предоставив автономию многим людям с особыми потребностями. За последние несколько лет компьютер превратился в ценный ресурс для обучения учащихся с широким спектром трудностей в обучении. Быстро растущая вычислительная мощность позволила предоставлять сложное аппаратное и программное обеспечение для доступа и удовлетворения потребностей в обучении [1].

На сегодня специальные настройки доступности для предоставления комфортного использования всемирной паутины внедрены в большинство популярных востребованных браузеров, а мировое сообщество пользуется общепринятым международным стандартом WCAG 2.0, созданным специально для пользователей с особыми потребностями [2, с. 45].

В связи с этим, разрабатывается приложение, которое предназначено для ведения обучающих курсов с учетом необходимых требований для комфортного использования всеми участниками, вне зависимости от их ситуативных, временных или постоянных ограничений.

Разработка ведется, следуя принципам доступности и придерживаясь конкретных рекомендаций, в свою очередь раскладываемые на критерии оценивания доступности.

Одними из преимуществ данного продукта являются:

- адаптивная и семантически верно построенная верстка;
- единообразие в структуре;
- достаточный цветовой контраст без использования сторонних программ;
- независимость от цвета – цвет не является фактором определения поведения элемента;
- возможность настройки характеристик шрифта – размер, межбуквенный и межстрочные интервалы;
- поддержка темной темы;
- доступность работы с клавиатуры.

На текущей стадии создана основная структура продукта со следующим функционалом:

– Возможность создания/редактирования курсов преподавателями. Курсы в свою очередь делятся на темы. В каждой теме идет чёткое разделение лекций, лабораторных и практических занятий, тестов и рекомендательной литературы.

– Учащиеся имеют возможность записи на любые курсы, темы проходятся последовательно, при полном прохождении одной темы будет открываться следующая. Лекции засчитываются самим студентом, в практике предусмотрена загрузка файлов и непосредственный текстовый редактор для ответа, и она засчитывается преподавателем.

В дальнейшем планируется разработка модуля тестов. Также предусматривается возможность расширения приложения необходимыми модулями для различных сфер образовательного направления.

Литература

1. ICTs in education for people with special needs. URL: <https://iite.unesco.org/pics/publications/en/files/3214644.pdf> (дата обращения: 05.02.2024).
2. *Большакова П.Н., Никитин А.И.* Анализ требований к разработке доступного информационного ресурса // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 75-й рег. науч.-практ. конф. преподавателей, науч. сотрудников и аспирантов, Витебск, 3 марта 2023 г. Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2023. – [757] с. URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/36783> (дата обращения: 07.02.2024).

Н.В. Астапенко¹, А.Д. Карамышев, И.И. Пунделев

*Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева,
г. Петропавловск, Казахстан*

¹SPIN-код: 3458-8319

РОЛЬ CRM-СИСТЕМ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОВРЕМЕННОГО БИЗНЕСА

В эпоху цифровизации управление клиентскими отношениями становится ключевым фактором успеха для современного бизнеса. CRM-системы (Customer Relationship Management) представляют собой мощный инструмент, способный трансформировать способ взаимодействия компаний с их клиентами. Они позволяют не только собирать, анализировать и хранить информацию о клиентах, но и предоставлять более персонализированные услуги, улучшая тем самым удовлетворенность клиентов и повышая общую эффективность бизнес-процессов.

В отсутствие CRM-систем компании сталкиваются с рядом проблем, таких как затруднения в сборе и анализе данных о клиентах, что приводит к неполному пониманию их потребностей. Это в свою очередь ведет к проблемам в обслуживании клиентов, неэффективным маркетинговым кампаниям и упущенным продажам. Отсутствие централизованной базы данных о клиентах затрудняет эффективное общение внутри компании и снижает её способность быстро реагировать на изменения рынка.

Проблемы в управлении клиентскими отношениями без CRM негативно сказываются на продажах и маркетинге. Неэффективное управление клиентскими данными приводит к потере потенциальных клиентов и снижению объемов продаж. В маркетинге отсутствие детализированной информации о клиентах затрудняет создание целевых и эффективных кампаний, что снижает их возврат инвестиций.

CRM-системы предлагают множество преимуществ, включая улучшение удовлетворенности клиентов за счет персонализированного подхода, повышение эффективности бизнес-процессов

через автоматизацию и лучшее управление данными. Эти системы также способствуют более эффективному маркетингу и увеличению продаж, предоставляя детальную информацию о покупательских привычках и предпочтениях клиентов. Примеры успешного использования CRM можно найти в различных отраслях, от розничной торговли до финансовых услуг и здравоохранения.

Основными целями внедрения CRM являются увеличение продаж, улучшение обслуживания клиентов, оптимизация маркетинговых усилий и повышение общей эффективности организации. Для достижения этих целей необходимо провести ряд задач, включая подготовку и обучение персонала, интеграцию CRM с существующими системами и процессами, а также мониторинг и анализ эффективности системы.

Внедрение CRM ожидается должно привести улучшения в обслуживании клиентов и как следствие увеличение продаж. Краткосрочные выгоды включают улучшение взаимодействия с клиентами и повышение эффективности маркетинга. В долгосрочной перспективе, CRM способствует росту лояльности клиентов, устойчивому увеличению прибыли и укреплению конкурентных позиций на рынке. SWOT-анализ для CRM-системы в современном бизнесе представлен в таблице.

SWOT-анализ результатов внедрения CRM-системы в современном бизнесе

<i>Сильные стороны</i>	<i>Слабые стороны</i>
<ul style="list-style-type: none"> – Централизованные данные о клиентах: CRM систематизирует информацию, делая данные о клиентах доступными в одном месте. – Улучшение взаимодействия с клиентами: CRM позволяет создавать более личные связи с клиентами, что улучшает обслуживание и повышает их удовлетворенность. – Повышение продаж: CRM анализирует покупательские модели и помогает предсказывать будущие продажи, что способствует их увеличению. 	<ul style="list-style-type: none"> – Высокие начальные затраты: Внедрение CRM может потребовать значительных начальных инвестиций в обучение и интеграцию с существующими системами. – Сложность использования: Некоторые CRM системы могут быть сложны в освоении для сотрудников, что замедляет их внедрение и снижает эффективность. – Зависимость от технологий: CRM требует постоянного обновления и поддержки, что создает зависимость от технического состояния системы.

Окончание табл.

<i>Сильные стороны</i>	<i>Слабые стороны</i>
– Эффективность маркетинга: CRM обеспечивает нацеливание на конкретные сегменты, улучшая ROI маркетинговых кампаний.	
<i>Возможности</i>	<i>Угрозы</i>
<ul style="list-style-type: none"> – Интеграция с новыми технологиями: CRM может интегрироваться с AI и Big Data для улучшения аналитики и персонализации услуг. – Расширение рынка: Использование CRM может помочь компаниям легче входить на новые рынки и целевые сегменты. – Усиление клиентоориентированности: CRM способствует переориентации бизнеса на удовлетворение потребностей клиента, что улучшает бренд и лояльность. 	<ul style="list-style-type: none"> – Конкуренция: Появление новых и более продвинутых CRM-систем может устареть существующие решения. – Безопасность данных: Сбор и хранение больших объемов данных о клиентах увеличивают риски безопасности и потенциальные нарушения конфиденциальности.

Анализ показал положительное влияние внедрения CRM-системы, которые играют жизненно важную роль в современном бизнесе, способствуя устойчивому росту и конкурентоспособности компаний. Они представляют собой мощный инструмент для трансформации бизнеса, делая его более клиентоориентированным и адаптируемым к меняющимся рыночным условиям.

Литература

1. SWOT-анализ: теория и практика. URL: http://powerbranding.ru/marketing_lessons/swot-analisy
2. Иванов А.А. Современные CRM-системы и их роль в бизнесе. М.: Бизнес-книги, 2023.
3. Петрова М.В. Управление взаимоотношениями с клиентами: от теории к практике. СПб.: Финансы и статистика, 2024.
4. Смирнов К.Ю. Интеграция CRM-систем: Путь к эффективному бизнесу. Екатеринбург: УралБизнес, 2022.
5. Васильева О.С. Аналитика данных в CRM: методы и примеры. Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2023.

Н.В. Астапенко¹, С.А. Путишев, Б.Н. Кенжеев

*Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева,
г. Петропавловск, Казахстан*

¹SPIN-код: 3458-8319

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ЮРИДИЧЕСКОГО ЦЕНТРА «VICTORY»

Современный бизнес требует от компаний не только высокого профессионализма, но и оперативности в решении задач. Автоматизация бизнес-процессов в юридическом центре актуальна, поскольку она позволяет сократить временные затраты, минимизировать ошибки и повысить общую эффективность работы [1].

В юридическом центре «Victory» развиваются различные бизнес-процессы, включая управление клиентскими запросами, юридическую подготовку документов, контроль сроков и согласований, а также внутреннюю отчетность. Автоматизация этих процессов станет ключевым элементом для повышения оперативности и эффективности предоставляемых юридических услуг. Наиболее значимые с точки зрения автоматизации следующие бизнес-процессы:

1. Управление клиентскими запросами: Этот процесс включает в себя прием и обработку запросов клиентов, их распределение среди сотрудников, контроль сроков исполнения и обратной связи с клиентами.

2. Юридическая подготовка документов: Этот процесс охватывает сбор необходимой информации от клиентов, генерацию юридических документов и их согласование с соответствующими сторонами.

В результате анализа бизнес-процессов юридического центра «Victory» была разработана структурно-логическая схема автоматизированной системы (рис. 1). Рассмотрим данную схему

подробнее. Со стороны клиента выполняется следующий функционал:

- Поступление запроса: Запросы поступают через различные каналы (электронная почта, онлайн-формы, телефонные звонки).
- Автоматическое присвоение статуса и приоритета: Система автоматически определяет статус (новый, в процессе, завершен) и приоритет запроса.
- Мониторинг сроков исполнения: Система отслеживает сроки выполнения задач и уведомляет о приближающихся дедлайнах.
- Автоматическое уведомление клиента о выполнении: После завершения запроса клиент автоматически получает уведомление.



Рис. 1. Структурно-логическая схема автоматизированной системы для бизнес-процессов юридического центра «Victory»

Система содержит автоматическое распределение задач между сотрудниками: Задачи распределяются между сотрудниками в зависимости от их специализации и загруженности.

Со стороны сотрудников юридического центра выполняется следующий функционал:

– Сбор информации от клиента: Клиент предоставляет необходимую информацию через электронные формы.

– Генерация шаблонов документов: Программное обеспечение автоматически генерирует документы на основе предоставленной информации.

– Подпись и согласование: Внедрение электронных подписей и системы электронного согласования.

– Архивирование готовых документов: Готовые документы автоматически архивируются и доступны для последующего использования.

Реализация и внедрение представленной автоматизированной системы приведет к сокращению временных затрат, повышению оперативности, улучшение управления бизнес-процессами в юридическом центре. С другой стороны, данная система предоставит для клиентов быстрое получение услуг, улучшенное взаимодействие с юридическим центром, повысит прозрачность процессов. Автоматизация бизнес-процессов в юридическом центре «Victory» не только оптимизирует внутренние операции, но и создает более эффективное и прозрачное взаимодействие с клиентами, что содействует укреплению конкурентных позиций фирмы на рынке.

Литература

1. *Беляков М.* 6 проблем в бизнесе, с которыми сталкивается каждый предприниматель при автоматизации. 2023. URL: <https://astanahub.com/ru/blog/6-problem-v-biznese-s-kotorymi-stalkivaetsia-kazhdyi-predprinimatel-pri-avtomatizatsii>.

Н.А. Ширяев

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),
г. Санкт-Петербург, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Прогнозирование временных рядов является важным инструментом для многих отраслей, таких как финансы, экономика, метеорология и многие другие. В настоящее время предложено множество методов для прогнозирования одномерных временных рядов [1], и активно исследуется задача прогнозирования многомерных временных рядов [2; 3]. Сложность решения последнее задачи заключается в наличии нелинейных связей не только между разными точками данных во времени, но и между самими переменными. Для прогнозирования многомерных временных рядов применяются методы, в основе которых лежат модели глубокого обучения, рекуррентные сети, сверточные сети и т. д. В настоящей работе рассматриваются несколько прогнозных моделей: авторегрессионный алгоритм ARIMA-GARCH, рекуррентные нейронные сети LSTM [4] и DSANet [5] с механизмом внимания.

Традиционным методом прогнозирования одномерных рядов является модель ARIMA[1], в этом случае для моделирования поведения некоторого объекта используется условное математическое ожидание ряда, которое оценивается увеличением и уменьшением условной дисперсией. А модель GARCH – для моделирования конечной условной дисперсии, для корректного построения интервальных прогнозов.

В [5] был предложен ансамбль моделей ARIMA и LSTM сети, применение которого позволило улучшить точность прогнозирования финансовых временных рядов. LSTM сети являются наиболее популярной архитектурой рекуррентных нейронных сетей [2]. Получая на вход многомерный ряд, она оперирует скрытыми слоями, которые формируются путём произведения вход-

ных данных и предыдущих значений скрытых слоёв, дополненные сигмоидной и гиперболической функцией активации. Следует отметить, что для финансовых данных было показано, что на статических предсказаниях модель Arima-Garch показывает лучшие результаты по точности, чем LSTM-сеть, а для динамических данных эффективность LSTM-сети наоборот выше в среднем на 6 процентов.

В последнее время для извлечения долгосрочных зависимостей применяется механизм внимания для глубоких нейронных сетей [7]. Слои внимания объединяют временные признаки с помощью динамически генерируемых весов, позволяя сети сосредоточиться непосредственно на важных временных шагах в прошлом.

В [6] предложена модель DSANet, в которой каждый из одномерных временных рядов входного многомерного ряда подаётся независимо на два параллельных свёрточных компонента для моделирования сложных глобальных и локальных временных паттернов. Затем выявленные представления временных рядов из каждого свёрточного компонента подаются в индивидуальный модуль самовнимания, с целью изучения зависимостей между различными сериями. В связи с тем, что свёрточные компоненты нелинейны, для повышения надежности параллельно интегрируется линейный авторегрессионный компонент.

В ходе выполненного анализа моделей были сделаны следующие выводы: применение глубоких нейронных сетей позволяет повысить точность прогноза, однако требуемые вычислительные ресурсы ограничивают применение на практике. В качестве будущих работ будут выполнены исследование выбранных моделей на данных от системы водоочистных сооружений SWAT [8], сформулированы критерии сравнения, которые позволят оценить практическую целесообразность различных подходов.

Литература

1. *Кизбикенов К. О.* Прогнозирование и временные ряды. Барнаул: АлтГПУ, 2017.
2. *Ехлаков Р.С., Судаков В.А.* Прогнозирование стоимости котировок при помощи LSTM и GRU сетей // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2022. № 17. 13 с.

3. *Chen Z., Ma M., Li T., Wang H., Li C.* Long sequence time-series forecasting with deep learning: A survey // *Information Fusion*. Vol. 97. 2023.
4. *Huang X., You P., Gao X., Cheng D.* Stock Price Prediction Based on ARIMA-GARCH and LSTM // *Proceedings of ICBIS 2023, AHCS, 2023*. P. 438–448.
5. *Huang S., Wu X., Wang D., Tang A.* DSANet: Dual Self-Attention Network for Multivariate Time Series Forecasting // *Proceedings of the 28th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*. 2019. P. 2129–2132.
6. *Li Z., Han J., Song Y.* On the forecasting of high-frequency financial time series based on arima model improved by deep learning // *J. Forecasting*, Vol. 39 (7). 2020. P. 1081–1097.
7. *Garg S., Peitz S., Nallasamy U., Paulik M.* Jointly learning to align and translate with transformer models // *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Association for Computational Linguistics*. 2019. P. 4453–4462.
8. Набор данных SWAT. URL: https://itrust.sutd.edu.sg/itrust-labs-home/itrust-labs_swat/ (дата обращения: 14.02.2024).

К.А. Уваров

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),
г. Санкт-Петербург, Россия*

ПОДДЕРЖАНИЕ БДИТЕЛЬНОСТИ ВОДИТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Проблема невнимательности при управлении транспортным средством, в том числе из-за усталости является одной из самых частых причин дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Подобные причины очень тяжело контролировать. Распространение тахографов среди грузового и автомобильного транспорта позволило снизить количество ДТП, но данное устройство в большинстве случаев фиксирует только график работы водителя. Отслеживание графика работы недостаточно для полноценной оценки усталости водителя, так как неизвестно, чем занимается водитель вне нахождения автомобилем. Кроме того, на данный момент тахографы обязательны к установке только на грузовом и автобусном транспорте, что не позволяет контролировать график нахождения за автомобилем для легкового транспорта.

В качестве решения подобной проблемы предлагается концепция системы, которая в автоматизированном режиме позволяет анализировать состояние водителя, определять уровень его усталости или определять моменты, когда он невнимателен и воздействовать на него различными способами. Современные системы поддержки водителей имеют некоторые аналоги предлагаемой системы, например, в случае длительного вождения некоторые системы поддержки водителя показывают на экране бортового компьютера значок чашки с кофе, чтобы напомнить водителю о необходимости отдыха.

При разработке подобных систем воздействий на пользователя необходимо помнить, что все люди уникальны и они могут по-разному реагировать на различные воздействия. По этой при-

чине разрабатываемая система будет персонализированной системой воздействий, которая индивидуально для каждого пользователя будут выбирать воздействие.

Системы персонализированных воздействий на пользователя – одно из перспективных направлений, которое можно использовать в различных областях. На данный момент системы персонализированных воздействий на пользователя активно развиваются в сфере мобильной медицины. Данные системы более известны, как JTAI (Just-In-Time Adaptive Interventions) [1].

Используя за основу идеи системы JTAI, система поддержки бдительности водителя будет состоять из 3 основных элементов: система сбора данных, система обработки данных и адаптивный компонент.

В задачи системы сбора данных входит получение данных на основе которых можно оценить состояние водителя. На данный момент существуют различные исследования, в которых авторы используют различные источники данных, например, видео или физиологические процессы человека (ЭЭГ, ЭКГ, кожно-гальваническая реакция) для оценки бдительности человека в режиме реального времени. Система обработки данных обрабатывает полученные данные и преобразовывает поток входных данных в количественное бдительности человека. Адаптивный компонент – самый сложный элемент системы, который на основе численного состояния бдительности человека принимает решение о выборе воздействия. Отсутствие воздействия, также является одним из решений этого компонента.

Задачу определения состояния водителя и формирования воздействий можно свести к задаче обучения с подкреплением. Таким образом, в терминах обучения с подкреплением: водитель представляет собой среду, значение бдительности водителя – состояние среды, адаптивный компонент – интеллектуальный агент, который использует различные воздействия на среду. Разницу между состоянием бдительности водителя до воздействия и после можно использовать, как награду агенту, который на основе этой награды будет учиться более качественно взаимодействовать именно с этим водителем и реализовать персонализированность системы.

Был проведен эксперимент, где в качестве среды использовалась вычислительная модель бдительности человека, а в качестве адаптивного компонента сравнивались 2 стратегии: случайная стратегия, когда воздействия выбирались случайно и стратегия, которую выбирал алгоритм DQN [2]. В рамках экспериментальной стратегии, которую выбрал алгоритм DQN была эффективней случайной стратегии.

Следующим этапом разрабатываемой системы является использование других алгоритмов обучения с подкреплением, а также оценкой предложенного подхода в реальных условиях.

Литература

1. *Nahum-shani I., Smith S.N., Witkiewitz K.* Just-in-time adaptive interventions (JITAI): An organizing framework for ongoing health behavior support // The Methodology Center Technical Report. 2014. Т. 073975. № 14. С. 1–37.
2. *Uvarov K., Ponomarev A.* Maintaining Vehicle Driver's State Using Personalized Interventions // 31st Conference of Open Innovations Association (FRUCT). Helsinki, Finland. 2022. С. 347–354.

Е.В. Семочкина

г. Москва, Россия

МОДЕЛЬ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕКЛАМНОЙ КОМПАНИИ, ВЫПОЛНЕННАЯ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СРЕДЕ «ARIS EXPRESS»

В источнике [1] с помощью инструментальной среды «ARIS EXPRESS» построена структурная модель внешнеэкономической деятельности компании, выпускающей газету в России для распространения ее в Китае.

На рис. 1 – первая часть модели (о выпуске газеты).

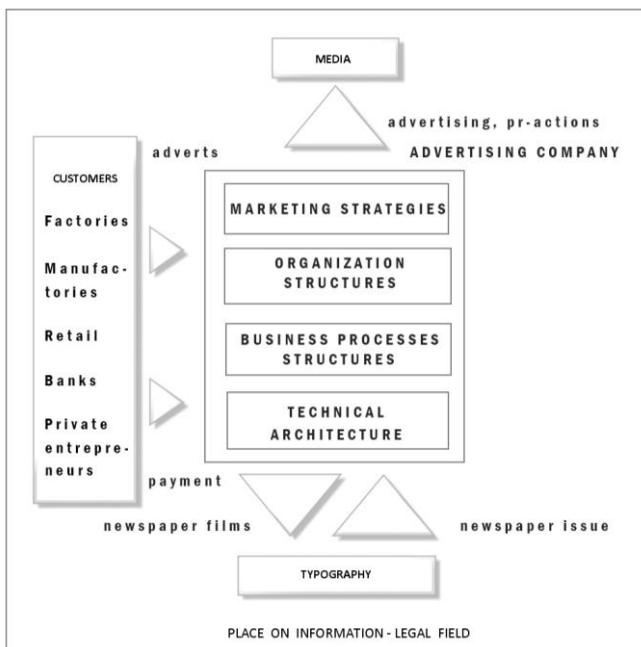


Рис. 1. Информационно-экономическое взаимодействие компании и социума в России

На рис. 2 – вторая часть модели (о распространении газеты в Китае).

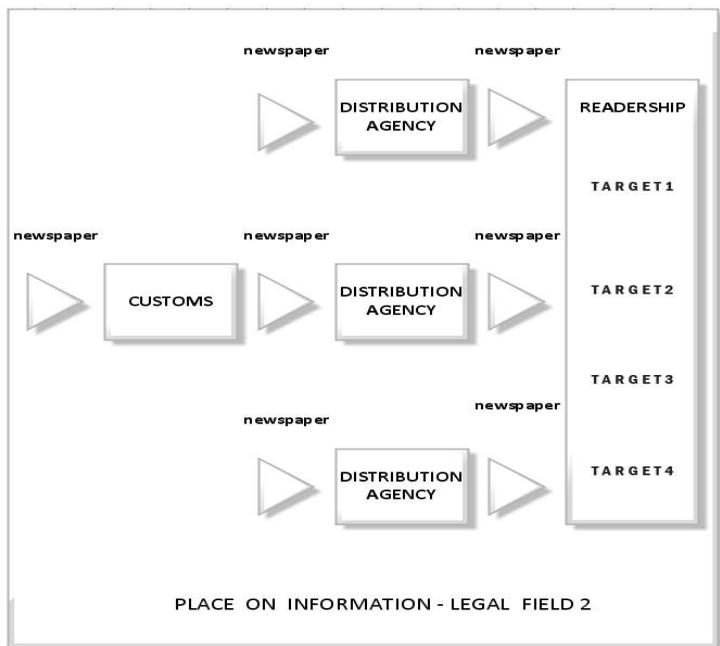


Рис. 2. Информационно-экономическое взаимодействие в Китае

На рис. 3 – диаграмма, описывающая Китайскую экономическую нишу

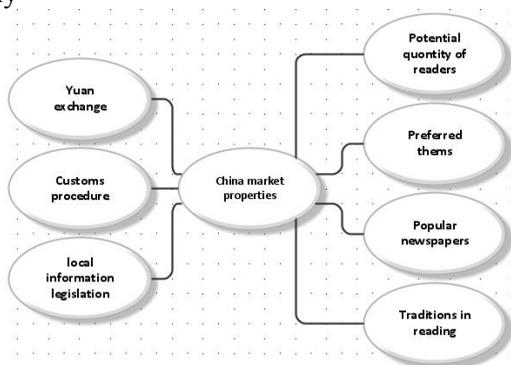


Рис. 3. Характеристики китайской экономической ниши

Данная модель может быть адаптирована под условия реального бизнеса.

Литература

1. Семочкина *Е.В.* Моделирование деятельности компании в информационно-правовом поле с помощью универсальной среды «ARIS EXPRESS» // «Современные тенденции управления и экономики в России и мире: цивилизационный аспект»: материалы IV всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием (21 февраля 2023 г.). М.: Университет мировых цивилизаций имени В.В. Жириновского, 2023. С. 189–202.

Е.В. Семочкина

г. Москва, Россия

АНАЛИЗ ИНТЕРЕСА ПОСЕТИТЕЛЕЙ К ИНФОРМАЦИИ WEB-САЙТА

В источнике [1] описана методика маркетингового исследования интереса посетителей к информации web-сайта. Она предусматривает:

– анализ статистики web-сайта, аналогичный анализу данных web-сайтов «Святые иконописцы» и «Жизнь во Христе» (приведен в пункте «Тщательный подбор статей и рубрик web-сайта» источника [1]);

– систематический подбор материалов перспективных тем, развивающих хорошо читаемые посетителями темы, а также размещение их на web-сайте;

– рекламирование этих тем многими путями;

– регулярное скачивание со счетчика <https://www.liveinternet.ru> графиков посещаемости web-сайта в целом, графиков посещаемости точек входа, графиков просмотров конкретных страниц web-сайта и анализ полученной информации;

– в случае необходимости, добавление материалов новых перспективных тем для подтверждения их привлекательности, продолжая анализ получаемых графиков посещаемости;

– в случае необходимости, рекламирование дополнительными путями, продолжая анализ получаемых графиков посещаемости;

– по возможности выявить закономерности между материалами повышенного спроса, между материалами ажиотажного спроса, между материалами, вовлекающими в чтение и использовать полученные закономерности при выборе перспективных тем.

В источнике [1] указывается на существенное влияние тематик статей на посещаемость веб-страниц: интересные статьи могут быть релевантными запросам поисковой системы, вовлека-

ющими в чтение и просто служить «закладками» на понравившейся странице, а неинтересные – могут быть мало замечаемым читателями наполнением ресурса. (*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.)

Увеличение числа «закладок» показывает наличие особенно понравившихся тем. Вовлекающие в чтение страницы вместе с часто запрашиваемыми в поисковых системах и объектами «закладок» формируют интерес посетителей и соответственно аудиторию web-сайта. Кропотливая и неустанная работа над наполнением в дополнение к платным и бесплатным способам рекламирования делает ресурс более известным.

Методика маркетингового исследования интереса посетителей к информации web-сайта предназначена для администраторов ресурсов, лиц, интересующихся маркетингом в среде интернет, и студентов, обучающихся по направлениям 38.03.02 «Менеджмент», 38.03.05 «Бизнес-информатика», 09.03.03 «Прикладная информатика», 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» по дисциплинам «Информационные технологии в менеджменте (управлении)», «WEB-технологии для управления бизнесом» и «Web-технологии».

Литература

1. Сёмочкина Е.В. Методика маркетингового исследования интереса посетителей к информации WEB-сайта // Вычислительные сети. Теория и практика. 2021. № 2 (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

МОДЕЛЬ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕКЛАМНОЙ КОМПАНИИ, ВЫПОЛНЕННАЯ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СРЕДЕ «ARIS EXPRESS»

В источнике [1] проведен анализ бизнес-процессов небольшой рекламной компании из 27 человек, выпускающей еженедельную газету, по методологии ARIS. В источнике [2] рассмотрены вопросы, влияющие на цифровизацию ее работы. На рис. 1 приводится общая модель ИТ-инфраструктуры, выполненная в инструментальной среде «ARIS EXPRESS».

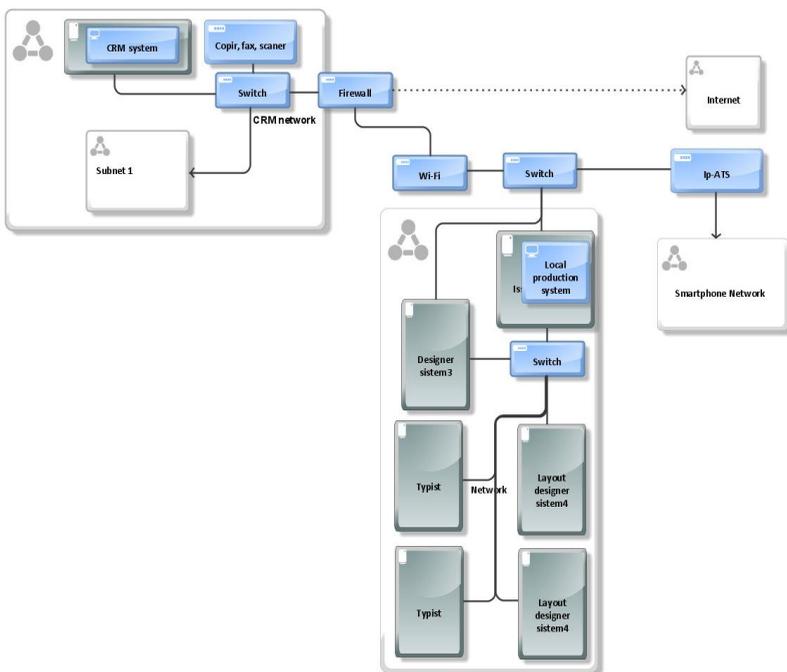
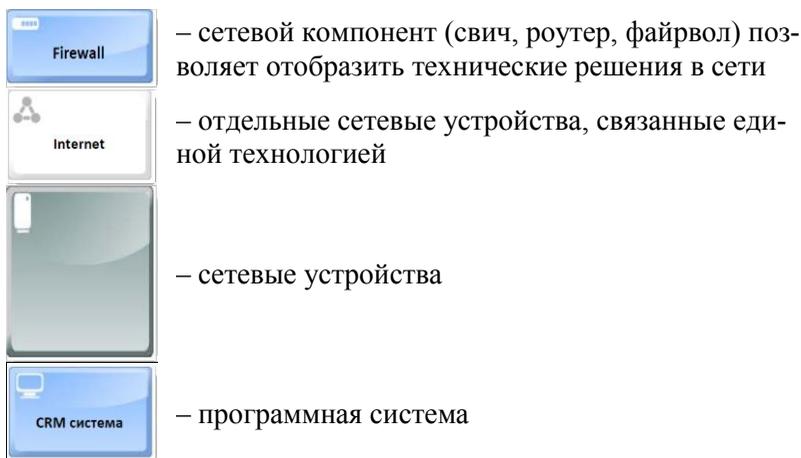


Рис. 1. Общая ИТ-инфраструктура небольшой рекламной компании

Напомним обозначения, использованные на рис. 1.



В источнике [2] приводятся подробные рисунки устройства Смартфон-сети и CRM-сети. Там же подробно обсуждается выбор элементов для построения ИТ-инфраструктуры.

Модель ИТ-инфраструктуры может быть адаптирована под другие условия реальной компании из сферы малого бизнеса. Без изменений вся информация статьи подходит для обучения студентов по ИТ-направлениям образования.

Литература

1. 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: 15.10.2021).
2. Семочкина Е.В. Моделирование ИТ-инфраструктуры небольшой рекламной компании в инструментальной среде «ARIS EXPRESS» // Вычислительные сети. Теория и практика. 2023. № 1 (40):10.1. URL: <http://network-journal.mpei.ac.ru/cgi-bin/main.pl?l=ru&n=40&pa=10&ar=1> (дата обращения: 15.10.2023).

В.В. Евдокимова, Л.С. Афанасов, А.Г. Масловская¹

Амурский государственный университет,

г. Благовещенск, Россия

¹SPIN-код: 9406-4315

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ДИАГНОСТИКИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА *

Особую важность в междисциплинарных исследованиях приобретает интеллектуальный анализ биомедицинских сигналов, представленных динамическими временными рядами. При диагностике сердечно-сосудистых заболеваний время, выделенное на диагностику и классификацию острых патологий, на постановку и начало лечения может оказаться критическим [1; 2]. Электрокардиограмма (ЭКГ) представляет собой электрический сигнал, отображающий процесс сократительной активности сердца, который регистрируется с помощью электродов, расположенных в районе груди и/или конечностей [3]. Современные исследования направлены на использование различных методов: нейронные сети и модели машинного обучения, гибридные и нейро-нечеткие подходы, спектральные и фрактальные методы. В [1] обучалась сеть LSTM для задачи мультиклассовой диагностики инфаркта миокарда и 12 сердечных ритмов на основе ЭКГ в 12 отведениях, точность классификации составила 96 %. В [2] показана классификация семи типов аритмий с помощью фрактальной размерности и сети BPN с точностью 98.83 %. В [4] фрактальный анализ применен для распознавания нормального ритма, частой экстрасистолии и фибрилляции предсердия на основе методов Херста и мультифрактального флуктуационного анализа.

* Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 122082400001-8.

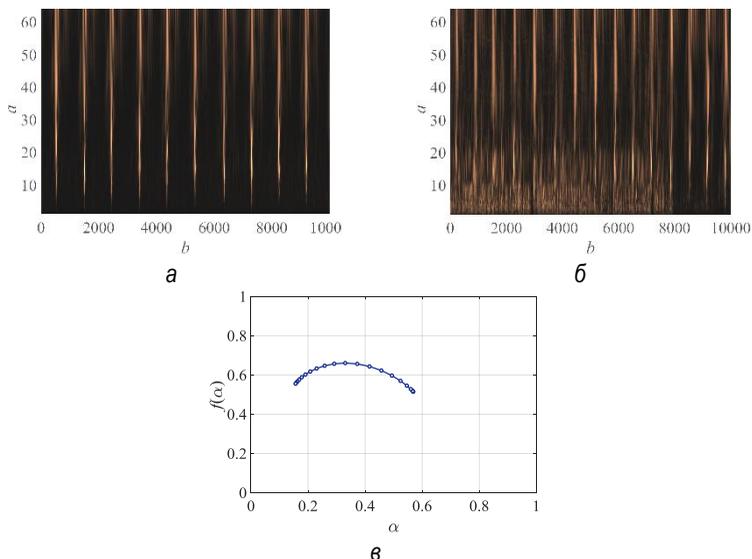
Настоящая работа посвящена разработке программных средств поддержки анализа сигналов на примере данных холтеровского мониторинга и регистрации ЭКГ отведения V4 (район четвертого межреберного промежутка на левой средней линии ключицы). Данные предоставлены ДНЦ ФПД СО РАМН. Для предварительной компьютерной диагностики особенностей сигналов ЭКГ разработано программное приложение, которое позволяет выявлять особенности временных рядов с использованием методики мультифрактального вейвлет-анализа. Вейвлет-преобразование позволяет выполнить частотно-временную локализацию временных рядов. Для входного временного ряда $Y(t)$ вейвлет-преобразование задается в виде [5]:

$$W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} Y(t) \psi\left(\frac{t-a}{b}\right) dt = \frac{1}{\sqrt{a}} \sum_{i=1}^N \bar{Y}_i \psi\left(\frac{i-a}{b}\right),$$

где $\psi(t)$ – базисный или материнский вейвлет; a – масштаб; b – сдвиг.

Значения функции коэффициентов $W(a,b)$ вейвлет-преобразования сигнала позволяют оценить скейлинговые характеристики – экспоненту Гельдера α , скейлинговую экспоненту $\tau(q)$ и спектр сингулярностей $f(\alpha)$ [5; 6]. Нелинейность $\tau(q)$ соответствует мультифрактальному характеру ряда, а спектр $f(\alpha)$ дает информацию о наборе фрактальных размерностей. Рисунок демонстрирует проекции поверхностей $W(a,b)$ для участка сигналов ЭКГ длительностью 6 сек, а также результат расчета мультифрактального спектра.

Для рассмотренных сигналов светлые полосы на средних и низких частотах соответствуют R-зубцам. При гиперсенсинге предсердия наблюдаются высокочастотные и среднечастотные компоненты при малых значениях масштабного коэффициента a на всем временном интервале. Вейвлет-преобразование проявляет диагностическую способность в исследованиях сигналов ЭКГ при холтеровском мониторинге. Наличие высокочастотных компонент на скелетоне вейвлета соответствуют гиперсенсингу предсердия.



Проекции коэффициентов вейвлет-преобразования сигналов:
 а) без видимых особенностей; б) при гиперсенсинге предсердия
 (использован вейвлет Мейера); в) спектр $f(\alpha)$ для сигнала, соответствующего б

Литература

1. *Kuan-Cheng Chang*. Usefulness of multi-labelling artificial intelligence in detecting rhythm disorders and acute ST-elevation myocardial infarction on 12-lead electrocardiogram // *European Heart Journal – Digital Health*. 2021. Vol. 2, iss. 2. P. 299–310.
2. *Kiani K*. Classification of 7 Arrhythmias from ECG Using Fractal Dimensions // *Journal of Bioinformatics and Systems Biology*. 2019. Vol. 2(3). P. 53–65.
3. *Рангайян Р.М.* Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
4. *Старченкова К.С.* Мультифрактальный анализ variability сердечного ритма для задач диагностики аритмий // Мягкие вычисления и измерения: материалы XXVI Международной конференции, Санкт-Петербург, 24–26 мая 2023 года. СПб., 2023. С. 419–422.
5. *Астафьева Н.М.* Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // УФН. 1996. Т. 166, № 11. С. 1145–1170.
6. *Масловская А.Г.* Алгоритмы мультифрактального вейвлет-анализа в задачах спецификации растровых изображений самоподобных структур // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. Т. 53. С. 61–70.

В.О. Салмиянов

Амурский государственный университет,

г. Благовещенск, Россия

SPIN-код: 4432-4734

АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМОВ СЕГМЕНТАЦИИ КТ-СНИМКОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ЛЕГКИХ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК*

В медицинской практике интеллектуальный анализ и системы компьютерного мониторинга открывают возможности по созданию новых методов диагностики человеческого организма. Теория самоорганизации и фрактальный формализм позволяют описать особенности строения сложноструктурированных природных объектов, установить скрытые изменения, а также масштабные характеристики. Методы фрактального анализа предоставляют алгоритмические инструменты для количественной оценки сложности структуры и границ по данным растрового изображения. Продолжением этого подхода является метод, основанный на мультифрактальной параметризации, который позволяет дополнительно исследовать скейлинговые характеристики объектов. Настоящая работа выполняется в рамках развития направления, связанного с адаптацией, программной реализацией и применением методов мультифрактального интеллектуального анализа для исследования особенностей цифровых изображений легких [1–3]. Аспектом настоящей работы является применение комбинированных алгоритмов сегментации и мультифрактальной параметризации для исследования их диагностических возможностей при анализе снимков компьютерной томографии легких.

Алгоритмы адаптивной сегментации направлены на выделение определенных признаков снимков с их последующей бина-

* Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 122082400001-8.

ризацией. Исходные изображения загружаются в формате DICOM, далее в автоматическом режиме проводится подбор глобальных порогов сегментации для создания масок, выделяющих необходимые элементы. Сегментированное изображение является входным данным для проведения мультифрактального анализа. Основой для фрактального анализа является метод покрытий изображений квадратными кластерами. В методе «box-counting» учитывается количество пикселей в сканирующей ячейке на определенном масштабе разбиения, а в алгоритме мультифрактального анализа определяется вес каждого кластера покрывающей сетки и рассчитывается спектр фрактальных размерностей Реньи. Система компьютерного анализа реализована на платформе ППП Matlab.

Пример анализа КТ-изображений легких, соответствующих диагностированным норме и патологии пневмонии, представлен на рис. 1.

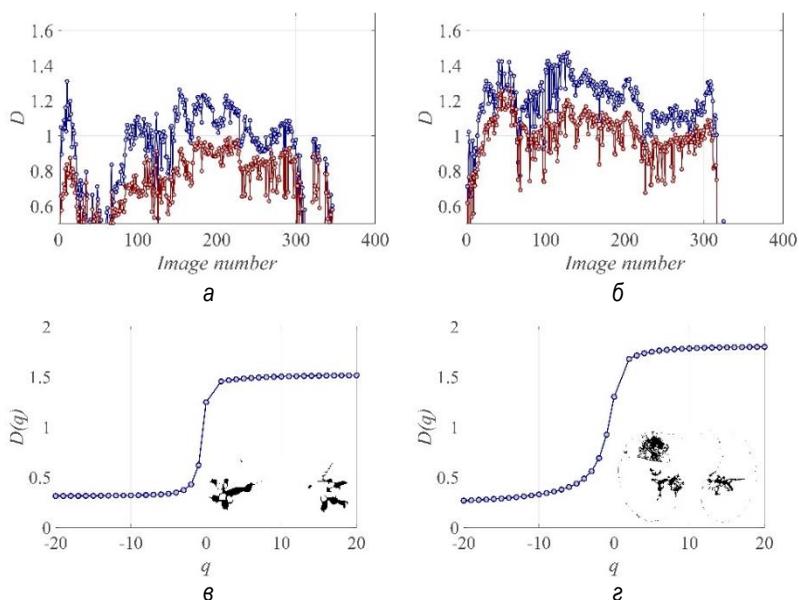


Рис.1. Результаты анализа КТ-снимков легких

Рис. 1а и 1б показывают результаты применения методики фрактального анализа для серии КТ-снимков, а рис. 1в и 1г – мультифрактальные спектры для отдельных изображений. Повышенные численные значения фрактальных размерностей соответствуют снимкам легких с диагностированной пневмонией рис. 1б. Результаты мультифрактальной параметризации показали увеличения спектра Реньи для снимков легких с выявленной патологией рис. 1г.

Программный модуль, основанный на методах мультифрактального анализа и алгоритмах сегментации, в составе системы интеллектуального анализа может служить дополнительным инструментом при проведении автоматизированной преддиагностики заболеваний легких.

Литература

1. Halder A., Chatterjee S., Dey D., Kole S., Munshi S. An adaptive morphology based segmentation technique for lung nodule detection in thoracic CT image // Computer method and programs in biomedicine. 2020. Vol. 197. P. 16.
2. Салмиянов В.О., Масловская А.Г. Мультифрактальная параметризация оцифрованных рентгеновских снимков биомедицинских объектов // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2023. № 101. С. 10–17.
3. Салмиянов В. О., Масловская А.Г. Программный комплекс системы сегментации и мультифрактальной диагностики цифровых изображений компьютерной томографии легких // Вестник Томского государственного университета. Секция: Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 65. С. 105–115.

Н.А. Манаков¹, А.М. Ерёмин²

¹*Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия,
SPIN-код: 4303-9141*

²*Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического университета
им. И.И. Ползунова, г. Бийск, Россия
SPIN-код: 2743-3214*

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СТРУКТУР В ОДНООСНЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

Стремительное развитие вычислительной техники и микроэлектроники привело к потребности качественного, тщательного анализа магнитных систем малого размера. Компьютерное и математическое моделирование является достаточно результативным методом изучения таких систем. В связи с этим использование методов компьютерного моделирования позволяет естественным образом дополнять и обновлять экспериментальные наблюдения, которые в ряде случаев достаточно затруднены.

Основные методы, связанные с расчётами магнитных полей в ферромагнетиках основываются на микромагнитном моделировании. Микромагнетизм (микромагнитное моделирование) – это классическая феноменологическая макроскопическая теория [1, 2]. Целью данной теории является поиск распределения поля намагниченности $\mathbf{M} = (M^x, M^y, M^z)$ (плотности магнитного момента) в некоторой системе ферромагнетиков. В работе [2] изложены два подхода к решению задач микромагнетизма. Один состоит в нахождении локальных минимумов функционала свободной энергии, которые соответствуют метастабильным или стабильным состояниям системы. В другом поле намагниченности находится путем решения дифференциального уравнения, которое постулирует эволюцию поля намагниченности с учетом диссипации. В зависимости от формы записи диссипативного члена это уравнение называют уравнением Ландау-Лифшица или уравнением Ландау-Лифшица-Гильберта. Стационарное решение

эволюционного уравнения показывает траекторию движения системы из начального состояния до равновесного состояния системы. В работе [1] приведены базовые формулировки задач на расчет полей намагниченности методами микромагнитного моделирования. Впоследствии данные формулировки были расширены и подытожены в работе Брауна [2]. Согласно этой работе функционал свободной энергии микромагнитной системы E имеет вид:

$$E = E_e + E_a + E_d + E_{ext} + E_s. \quad (1)$$

Компоненты свободной энергии правой части (1) в Гауссовой системе принимают вид. Энергия обменного взаимодействия E_e :

$$E_e = \iiint_V A \left[(\nabla m^x)^2 + (\nabla m^y)^2 + (\nabla m^z)^2 \right] dV, \quad (2)$$

где $\mathbf{m} = \mathbf{M} / M_s = (m^x, m^y, m^z)$ – единичный вектор в пределах объема V , занимаемого ферромагнетиком. A – константа обмена. Вид функционала энергии магнитной анизотропии E_a зависит от типа кристаллической решетки. Микромагнитные расчеты в данной работе проведены для одноосных ферромагнетиков, функционал E_a для которых имеет вид:

$$E_a = \iiint_V \left[K_1 \left(1 - (\mathbf{w} \cdot \mathbf{m})^2 \right) + K_2 \left(1 - (\mathbf{w} \cdot \mathbf{m})^2 \right)^2 \right] dV, \quad (3)$$

здесь K_1, K_2 – константы магнитной анизотропии; \mathbf{w} – единичный вектор направления оси легкого намагничивания. Энергию системы в собственном (размагничивающем) поле можно записать в виде:

$$E_d = -0.5 \iiint_V \mathbf{M} \cdot \mathbf{H}_d dV. \quad (4)$$

Здесь \mathbf{H}_d – напряженность собственного (размагничивающего) поля. Энергия системы во внешнем поле напряженностью \mathbf{H}_{ext} имеет вид:

$$E_{ext} = - \iiint_V \mathbf{M} \cdot \mathbf{H}_{ext} dV. \quad (5)$$

Цель нашей работы – это разработка результативных методов компьютерного (численного) моделирования микромагнитных систем. В рамках теории микромагнетизма нами были рассмотрены следующие задачи: расчета поля намагниченности в бесконечно длинном монокристалле путем минимизации функционала свободной энергии; решения указанной выше задачи с помощью эволюционного уравнения Ландау-Лифшица; расчета поля намагниченности в многослойной пленке; расчета поля намагниченности в полубесконечном монокристалле; расчета поля намагниченности в тонкой пластинке [3]. Также нами был разработан и использован метод минимизации функционала, представляющей собой свободную энергию микромагнитной системы. При этой минимизации учитывалась неявная зависимость функционала от поля намагниченности через потенциал собственного (размагничивающего) поля.

Литература

1. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* К теории дисперсии магнитной проницаемости ферромагнитных тел // Ландау Л.Д. Собрание трудов. М.: Наука, 1969. Т. 1. С. 128–143.
2. *Браун У.Ф.* Микромагнетизм: монография. М.: Наука, 1979. 159 с.
3. *Манаков Н.А., Толстобров Ю.В., Ерёмин А.М., Гуньков В.В.* Численное моделирование магнитных структур одноосных ферромагнетиков: монография. Оренбург: ОГУ, 2019. 165 с.

Д.В. Пекишев

Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОИСКА СКОМПРОМЕТИРОВАННЫХ ДАННЫХ, ПОПАВШИХ В ОТКРЫТЫЙ ДОСТУП

Взломы аккаунтов населения и регулярные утечки личных данных в открытые источники стали бичом современного цифрового мира [1]. Из-за неправомерных действий хакеров вся персональная информация о людях оказывается в утечках, что несет значительные риски для пользователей. Учитывая актуальность проблемы, была поставлена задача создания информационного сервиса (telegram-бота), цель работы которого в мониторинге появляющихся утечек в открытых источниках и предоставлении пользователям актуальной информации о попадании их личных данных в эти утечки.

При таком большом количестве цифровых угроз разработка инновационных средств по защите данных становится приоритетной задачей.

С развитием цифровых технологий возросла потребность в эффективной обработке данных различных форматов, таких как SQL, JSON и CSV. В ходе работы была написана программа для анализа, классификации и унификации данных, которая позволяет работать с разнообразными форматами в едином стандарте [2]. Эта программа внедрена в telegram-бот.

Рассмотрим используемые модели обработки информации в этой программе:

1) анализ файлов – программа осуществляет анализ входных файлов для определения их формата и структуры, используются алгоритмы, способные распознавать особенности SQL-запросов, JSON-объектов и структуру CSV-файлов;

2) классификация типов данных – на основе анализа программа классифицирует типы данных в каждом файле, определяя, например, числа, строки, даты и т.д., а различные языки запросов (SQL), объектные структуры (JSON) и таблицы (CSV) обрабатываются с учетом их особенностей;

3) приведение к унифицированному формату – программа преобразует данные из различных форматов в унифицированный формат, где каждый тип данных имеет общую структуру, что обеспечивает однородность данных и упрощает дальнейшую обработку и анализ;

4) интеграция с базами данных – программа позволяет интегрировать полученные файлы в поисковую систему, разработанную в процессе выполнения данной работы, эта поисковая система нацелена быстро находить необходимые данные в унифицированных базах данных;

5) преобразование отдельных записей – классификация типов данных и приведение столбцов в таблицах к унифицированному списку наименований, а также очистка полей, которая включает в себя сортировку, дедупликацию, изменения регистра, удаление пустых строк и служебных столбцов, строк с ошибками кодировки, преобразование юникс-времени в обычное и другие преобразования данных.

Преимущество этой программы: поддерживается несколько форматов данных, что делает программу универсальным инструментом для работы с разнообразными источниками информации, а благодаря алгоритмам анализа и классификации, обеспечивается высокая эффективность в обработке больших объемов данных.

Ее модель обработки информации обеспечивает не только унификацию данных, но и предоставляет удобные возможности интеграции в современные информационные системы, что служит важным шагом в улучшении эффективности работы с данными в многогранном цифровом мире.

Разработанное приложение имеет высокую скорость предоставления нужной информации пользователю, помимо этого, присутствуют автоматическая обработка новых данных, система регулярных обновлений баз данных, интеграция с API, что делают данный бот важным инструментом по защите аккаунтов.

Еще одним преимуществом приложения являются простота использования, удобный интерфейс, способность предоставлять информацию сразу без долгого ожидания, оперативное реагирование на новые утечки, перевод сообщений на разные языки. И вышеописанная программа по обработке информации очень важна для работы сервиса.

Вывод: telegram-бот является технологическим решением успешной защиты персональных данных пользователей в цифровом мире постоянных вызовов и целенаправленных проникновений злоумышленниками в аккаунты людей.

Таким образом, возникает острая необходимость в разработке таких приложений для массового использования. Внедрение в telegram сервиса с расширенным функционалом для защиты личных данных людей, способного оперативно реагировать на угрозы и своевременно предоставлять пользователям детальную информацию о возможных утечках их личной информации, востребовано в наше время.

Литература

1. Проблемы информационной безопасности: сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, Гурзуф, 25-27 февраля 2016 / под ред. д.т.н., профессора О.В. Бойченко. Саки: ИП Бровко А.А., 2016. С. 114–115.
2. *Пекишев Д.В.* Программа для обработки и унификации файлов с данными. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687418.

Н.С. Кольева¹, К.В. Акуз

*Уральский государственный экономический университет,
г. Екатеринбург, Россия*

¹SPIN-код: 8732-5601

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ C#

Изначально платформа .NET Framework разрабатывалась только для применения под операционной системой MS Windows. Однако некоторое время назад компания Microsoft объединила старую версию .NET Framework и нового кроссплатформенного .NET Core в единую платформу .NET и объявила об ежегодном обновлении. Что в свою очередь вдохнуло вторую жизнь в платформу .NET в целом и язык C# в частности.

Платформа .NET дает большой спектр технологий основанных на C#. C# является языком общего назначения, а значит, покрывает большое количество задач и областей, а именно:

– Web – разработка web-приложений и сервисов для платформ macOS, Windows, Linux и Docker.

– Mobile – разработка единой кодовой базы для построения нативных приложения для iOS и Android.

– Desktop – разработка нативных приложения под Windows и macOS.

– Microservices – разработка независимых компонентов запускаемы в Docker контейнерах.

– Cloud – использование существующих облачных решений или создание собственных. C# поддерживается большинством облачных платформ, такими как Azure и AWS.

– Machine learning – разработка приложений искусственного интеллекта и машинного обучения, решающие проблемы машинного зрения, обработки речи, моделей предсказания, и т. д.

– Game development – разработка 2D и 3D игра для самых популярных десктопных и мобильных платформ.

– Internet of Things (IoT) – разработка приложений для интернета вещей, имеющие поддержку Raspberry Pi и других одно-платных компьютеров [1; 2].

Таким образом, мы видим гарантии от разработчика языка в лице компании Microsoft в поддержке языка в течении длительного срока времени. Кроссплатформенность, что позволяет запускать разработанные на этом языке приложения на множестве типов машин и устройств под различными операционными системами. Относительную простоту написания программных продуктов на языке C#. При этом сохраняется схожая стилистика с другими языками такими как C++ или Java. Это безусловно упрощает переход на эту платформу разработчиков со схожих платформ. Ну и огромный перечень возможностей, покрывающий если и не все задачи, то ошутимо большой их пласт. В соответствии с рейтингом популярности языков программирования, который формируется ежегодно, видно, что C# уверенно входит в пятёрку самых популярных языков программирования мира.

Литература

1. *Iklassova K.E., Kozhakhmetova R.N.* Modeling the dynamic semantics of a computer program // Цифровые модели и решения. 2023. Т. 2, № 4. С. 5–12. DOI: 10.29141/2949-477X-2023-2-4-1. EDN: CDUMAE.
2. *Kolyeva N.S.* Development of a model for assessing the complexity of learning information // AIP Conference Proceedings. 2023. 2812(1), 020071. DOI: 10.1063/5.0162508.
3. *Кобылкин Д.С., Юсупова О.В.* Перспектива применения средств Entity Framework при разработке систем распределенной обработки данных на языке C# // Символ науки: международный научный журнал. 2021. № 2. С. 14–17.
4. *Шакирова Г.М.* Язык программирования C# и возможности его применения // Цифровая трансформация бизнеса: анализ, технологии и перспективы: сборник материалов Всерос. науч.-практ. конф. преподавателей, сотрудников и студентов. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации / ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет»; Факультет Экономический; Кафедра Цифровых технологий и прикладной информатики. 2023. С. 94–97.

Н.С. Кольева¹, М.А. Панова², В.В. Шемакин

*Уральский государственный экономический университет,
г. Екатеринбург, Россия*

¹SPIN-код: 8732-5601; ²SPIN-код: 3582-1123

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕГРАЦИИ ВЕБ-ПРОГРАММИРОВАНИЯ И AR В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ

В данной статье рассмотрим различные примеры AR в различных отраслях.

1. Образование:

Интерактивные учебные материалы: Учебные приложения с интеграцией AR позволяют учащимся взаимодействовать с виртуальными моделями и дополнительной информацией, улучшая понимание учебного материала.

Исторические экскурсии: AR-приложения могут предоставлять исторические экскурсии, где пользователи могут видеть воссозданные исторические моменты и события, визуализированные на месте действия.

2. Медицина:

Хирургическая подготовка: Хирурги могут использовать AR для тренировок на виртуальных пациентах и выполнения хирургических процедур в симулированных условиях.

Визуализация медицинских данных: AR помогает врачам визуализировать медицинские данные и изображения, улучшая диагностику и лечение.

3. Маркетинг:

Примерка виртуальной одежды: Розничные магазины могут предоставлять AR-приложения для онлайн-покупателей, которые могут примерять виртуальную одежду и аксессуары перед покупкой.

Интерактивные рекламные кампании: Маркетологи создают интерактивные рекламные кампании с использованием

AR, которые позволяют пользователям взаимодействовать с продуктами и брендами.

4. Розничная торговля:

Поддержка покупателей: В магазинах можно предоставлять AR-навигацию и информацию о товарах, а также оценки и отзывы покупателей в реальном времени.

Расширение виртуального ассортимента: AR позволяет магазинам представлять виртуальные варианты товаров, которые физически отсутствуют на полках.

5. Игровая индустрия:

AR-игры: Классический пример – Pokemon GO, но существует множество других игр, где пользователи исследуют мир с использованием AR и взаимодействуют с виртуальными объектами и персонажами.

Интерактивные квесты: AR создает уникальные игровые опыты, такие как квесты и головоломки, которые основаны на реальных местах и заданиях.

6. Туризм и путешествия:

Интерактивные туры: Туристические агентства создают AR-туры, которые предоставляют интерактивную информацию и исторические факты о достопримечательностях в реальном времени [1; 2].

Расширенная информация о местоположении: AR-приложения могут дополнять информацию о местоположении пользователя, предоставляя рестораны, магазины и другие объекты с описанием и отзывами.

Эти примеры иллюстрируют разнообразие способов использования интеграции веб-программирования и AR в различных отраслях, обогащая и совершенствуя пользовательские интерфейсы и опыт в разных сферах жизни.

Литература

1. *Kolyeva N.S., Panova M.V., Shemyakin V.V.* Application of AR-technologies in architectural design // International Journal of Professional Science. 2023. № 11-2. S. 6–12.
2. *Kopnova O.L., Aityмова A.M., Abildinova G.M.* System analytics of data redundancy of corporate information systems using the theory of symmetry // Цифровые модели и решения. 2023. Т. 2, № 3. С. 51–60. DOI: 10.29141/2949-477X-2023-2-3-4. EDN: DPVJWP.

Н.С. Кольева¹, К.Я. Щербан

*Уральский государственный экономический университет,
г. Екатеринбург, Россия*

¹SPIN-код: 8732-5601

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОТДЕЛА КАДРОВ

Микросервисы могут взаимодействовать через различные типы связи в зависимости от сценария и целей.

В нашем случае это взаимодействия типа «запрос-ответ» по протоколу HTTP (синхронно или асинхронно). Микросервис отправляет запрос другому микросервису через HTTP-методы, например, GET, POST или PUT. В ответ получает код состояния отправленного запроса. Рассмотрим сценарии взаимодействия, которые должны выполняться в приложении, согласно требованиям к функционалу.

Создание документа.

Клиент отправляет запрос с событием создания документа «CreateDocumentEvent» в «idoc-gateway-api» и получает ответ со статусом «HTTP_ОК (200)». Запрос успешно обработан.

«idoc-gateway-api» маршрутизирует запрос к сервису «idoc-events-adapter-api», который выступает в роли producer брокера сообщений. Он обрабатывает запрос и добавляет событие в очередь.

«idoc-documents-event-bus-api», выступающий в роли consumer, опрашивает брокер сообщений на наличие новых события. Получив событие, формирует запрос на создание документа в «idoc-documents-api».

Обновление документа. Событие «UpdateDocumentEvent» попадает в «idoc-documents-event-bus-api» аналогично, как и «CreateDocumentEvent».

Согласно требованию, при изменении исполнителя документа все его участники (автор, текущий исполнитель и все предыдущие) получают уведомление о событии.

Следовательно, необходимо получить данные, которые были изменены и определить есть ли среди них исполнитель.

Для этого «`idoc-documents-event-bus-api`» сначала отправляет GET запрос «`/api/documents/{id}`» и получает версию документа до изменения.

Далее запрос PUT «`/api/documents{id}`» изменяет данные документа. Важно отметить, что в данном случае правильно использовать именно PUT, так как он является идемпотентным и множественные вызовы этого метода, с идентичным набором данных, будут иметь тот же результат выполнения (без сторонних эффектов) [1; 2].

После успешного выполнения запроса происходит сравнение данных документа до и после изменения. Если исполнитель не был изменен, то на этом взаимодействие микросервисов заканчивается. Если исполнитель был изменен, то автору документа и всем предыдущим исполнителям (в том числе и текущему), должно прийти уведомление на электронную почту. Чтобы узнать предыдущих исполнителей необходимо получить информацию о всех предыдущих версиях документа.

GET запрос «`/api/documents/{id}/revisions`», возвращает все предыдущие состояния документа в том числе `id` пользователей, которые ранее были исполнителями.

GET запрос «`/api/users/{id}`» для сервиса «`idoc-users-api`» возвращает информацию о пользователях, в которой хранится электронная почта.

В завершении «`idoc-documents-event-bus-api`» отправляет POST запрос в «`idoc-notifications-api`» для рассылки уведомлений тем пользователям, чьи электронные почты были указаны в профиле.

Изменение статуса документа.

При изменении статуса документа, событие «`ChangeDocumentStatusEvent`» попадает в «`idoc-documents-event-bus-api`» аналогично как при создании и обновлении документа. Также после смены статуса должна осуществляться рассылка уведомлений.

В данном случае нам не нужно сверять версии документов до изменения и после, так как метод «`ChangeDocumentStatusEvent`» меняет только статус. Достаточно получить ответ «HTTP_OK

(200)» на запрос POST «/api/documents/{id}/workflow?action={action}», что свидетельствует об успешной смене статуса. Здесь используется POST метод так как при множественном вызове этого метода результат выполнения будет разным [3; 4].

Также рассмотрим ряд запросов к микросервиса «*idoc-documents-api*» и «*idoc-users-api*», которые не переходят в очередь сообщений: (Получить доступные пользователю документы; Получить документ по id; Сохранить нового пользователя; Обновить данные о пользователе; Получить данные о пользователе; Получить данные о всех пользователях; Получить данные о всех пользователях с указанной в параметре ролью; Удалить пользователя; Получить все существующие роли) [5].

Данные запросы «*idoc-gateway-api*» отправляет напрямую к микросервисам, без участия брокера сообщений.

Такая реализация обусловлена тем, что данные запросы не предполагают большой нагрузки.

Литература

1. *Kolyeva N.S., Kortenko L., Radkovskaya E.* Designing a microservice architecture on the example of an automated application for the HR department // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 402. Art. 03043. DOI: 10.1051/e3sconf/202340203043.
2. *Белалова Г.А.* Анализ методов интеграции информационных систем // Цифровые модели и решения. 2023. Т. 2, № 3. С. 61–68. DOI: 10.29141/2949-477X-2023-2-3-5. EDN: GUUWBY.

Г.Ф. Низамова¹, Г.А. Захарян, А.В. Шундеев

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

¹SPIN-код: 1267-4700

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОЦЕССА ЗАПОЛНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПЛАНОВ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ВУЗА

Одним из основных документов, регламентирующих работу преподавателя высшего учебного заведения, является индивидуальный план работы преподавателя (ИПР ППС), который составляется преподавателем на предстоящий учебный год на основании годового плана кафедры и включает в себя различные виды работ: учебная, учебно-методическая, научная, организационно-методическая, воспитательная, профориентационная. Планирование работ, составляющих вторую половину дня, выполняется строго в соответствии с нормами времени, утвержденными в конкретном учебном заведении [1; 2]. При этом необходимо корректное заполнение всех плановых показателей: все значения должны быть рассчитаны в соответствии с требованиями норм времени и не должны содержать ошибок. Для повышения качества и упрощения процесса подготовки ИПР ППС было разработано программное обеспечение, которое позволяет на основе выбранных (планируемых) преподавателем видов деятельности рассчитать показатели второй половины дня и сгенерировать текстовый документ «Годовой ИПР ППС» в соответствии с шаблоном, принятым в университете.

Для разработки программного обеспечения использован язык программирования Python и интегрированная среда разработки PyCharm в сочетании с графическим пользовательским интерфейсом (GUI), предоставляемым фреймворком PyQt5. Графический интерфейс приложения был разработан с использованием стандартных виджетов в Qt Designer с точной настройкой разметки layout. Это позволило обеспечить оптимальное масштаби-

рование программного окна и обеспечить его удобство использования. Конечный вариант ИПР ППС представляет собой текстовый документ в формате «doc», который может быть скорректирован в текстовом процессоре MS Word, при необходимости. Для заполнения этого текстового файла в разработанном приложении использованы методы и функции библиотеки DocxTemplate.

В процессе работы с приложением пользователь вносит в поля в верхней части программы следующие данные: общая годовая нагрузка, например, 1487 часов и учебная нагрузка, например, 894,7 часов. Оставшиеся часы должны быть распределены для выполнения работ, составляющих вторую половину дня преподавателя. Планируемые виды деятельности могут быть выбраны из разных разделов, например, это может быть учебно- и организационно-методическая работа, научно-исследовательская работа, воспитательная работа. Для удобства работы пользователя разные разделы находятся на разных вкладках, пользователь может свободно переключаться между ними и выбирать нужные виды работ, отмечая галочкой соответствующий пункт и, если это предусмотрено данным видом работы, проставляя необходимое количество единиц (например, количество комплектов заданий, количество публикаций и т. д.). На основе отмеченных пунктов приложение рассчитывает необходимое для выполнения выбранных работ количество часов, суммарное количество часов по всей второй половине дня отображается в верхней части приложения, также рядом в отдельном окне выводится количество часов, которое осталось незапланированным. При этом, нужно отметить, все расчеты происходят в интерактивном режиме, т. е. каждый раз, когда преподаватель отмечает новый пункт работы, значения в полях приложения пересчитываются. После распределения всех планируемых работ пользователю необходимо сохранить свой план. В результате будет сгенерирован текстовый документ в соответствии с шаблоном, принятым в учебном заведении. Экранная форма приложения в процессе заполнения плана показана на рис. 1.

Приложение протестировано в текущем учебном году для составления ИПР ППС, пользователи положительно отметили удобный и интуитивно понятный графический интерфейс, отсут-

ствие необходимости ручного заполнения документа и ведения расчетов с использованием других программных средств.

The screenshot shows a software window titled 'MainWindow' with the following data:

Учебная работа	894.7	Всего	1487
Учебно- и организационно-методическая работа			244.0
Научно-исследовательская работа			0
Воспитательная работа			0

Below the summary, there are tabs for 'Аудиторная Работа', 'Организационная работа', 'НИР преподавателя и студентов', and 'Воспитательная работа'. The 'Аудиторная Работа' tab is active, showing a list of activities under the heading 'Подготовка к занятиям':

<input checked="" type="checkbox"/> К лекциям по новому (для преподавателя) курсу	1 час	114
<input type="checkbox"/> К лекциям по читаемому курсу	1 час	
<input type="checkbox"/> К практическим (семинарским) занятиям, лабораторным работам по новому (для преподавателя) курсу	1 час	
<input type="checkbox"/> К практическим (семинарским) занятиям	1 час	
<input checked="" type="checkbox"/> К лабораторным работам	1 час	64
<input type="checkbox"/> К выездным занятиям	1 час	
<input type="checkbox"/> Проверка индивидуальных домашних заданий студентов заочной формы обучени	Семестр	

At the bottom left, the 'Остаток' is 348.3. At the bottom right, there is a button labeled 'Генерировать документ'.

Рис. 1. Экранная форма приложения «Формирование ИПР ППС»

Литература

1. Толмачев Г.А. Автоматическое формирование индивидуального плана преподавателей на основе нагрузки преподавателей // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. 2019. Т. 1. С. 26–28. EDN DANQRS.
2. Горохов Д.Б. Автоматизированное формирование индивидуального плана преподавателя на базе автоматизированного распределения нагрузки преподавателей кафедры вуза // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2022. Т. 1. С. 30–33. EDN FWPDBH.

Н.В. Бутхузи, К.И. Будников¹

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

¹SPIN-код: 4580-0963

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ РЕНТГЕНОГРАММ ЛЕГКИХ

Здоровье является одним из главных аспектов благополучного существования человека. Его сохранение и борьба с заболеваниями находятся среди основных задач общества.

Наиболее распространенными являются заболевания дыхательных путей. Для их диагностики проводятся рентгенологические исследования в результате которых врачи получают изображения органов дыхания и анализируют их. Этот процесс можно автоматизировать с помощью компьютера, предварительно выделив интересующие области с использованием алгоритмов сегментации, которые можно условно разделить на методы использующие машинное обучение, и те, которые разработаны в рамках классических исследований в области компьютерного зрения. К первым можно отнести различные модификации U-Net [1], а ко второй группе такие методы, как Graph Cut, ASM, ERF-ASM [2; 3].

В качестве цели данной работы, ставится разработка программного комплекса, позволяющего провести сравнение различных методов сегментации изображений органов дыхания человека и выбрать, на основе определенных метрик, метод, наиболее подходящий для решения данной задачи в медицинских учреждениях.

В качестве базовой метрики, применяемой для оценки качества сегментации тем или иным методом, используется коэффициент Серенсена (1), где TP – правильная сегментация, FP – ложно положительная сегментация, FN – ложно отрицательная сегментация.

$$DCS = \frac{2TP}{2TP+FP+FN} \quad (1)$$

Для оценки эффективности сегментации использовался датасет JSRT (Japanese Society of Radiological Technology).

В ходе работы создан программный комплекс для проведения анализа подходов, применяющихся для сегментации изображений легких, разработаны метрики для оценки алгоритмов и проведено экспериментальное исследование. Разработанный комплекс позволяет сократить время, затрачиваемое на сравнение подходов и снизить соответствующие трудозатраты.

Литература

1. *Liu W. et al.* Automatic lung segmentation in chest X-ray images using improved U-Net // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. Art. 8649.
2. *Giv M.D. et al.* Lung segmentation using active shape model to detect the disease from chest radiography // *Journal of Biomedical Physics & Engineering*. 2021. Vol. 11. №. 6. P. 747.
3. *Candemir S. et al.* Graph-cut based automatic lung boundary detection in chest radiographs // *Proc. IEEE Healthcare Technology Conference: Translational engineering in health & medicine*. Houston, Texas USA, 7–9 November. 2012. P. 31–34.

И.М. Черненко

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

ШАБЛОНЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИНВАРИАНТА В ДЕДУКТИВНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ POST-ПРОГРАММ, НЕ ЗАВИСЯЩИЕ ОТ ШАБЛОНОВ ТРЕБОВАНИЙ

Процесс-ориентированное программирование [1] представляет собой подход к разработке управляющего программного обеспечения, в котором программа представляется как последовательность процессов. Каждый процесс имеет набор активных состояний, определяемых в тексте программы, а также два неактивных состояния *STOP* и *ERROR*, соответствующих нормальной остановке процесса и остановке по ошибке. С активными состояниями процесса связан программный код, реализующий управляющую логику процесса. При запуске процесс находится в состоянии, которое определено первым в тексте программы для этого процесса. На каждой итерации цикла управления последовательно выполняются процессы программы в своих текущих состояниях. Процесс может запускать и останавливать другие процессы. Для возможности контроля времени нахождения процесса в определенном состоянии каждый процесс имеет таймер, который сбрасывается при переходе в другое состояние, а также может быть сброшен в коде программы. Состояние может иметь таймаут.

К управляющему программному обеспечению часто предъявляются повышенные требования к надежности. Выполнение таких требований могут обеспечить методы формальной верификации, одним из которых является дедуктивная верификация. В дедуктивной верификации программа и требования к ней формализуются в виде логических формул и далее при помощи логического вывода порождаются условия корректности – формулы, истинность которых гарантирует соответствие программы требова-

ниям. В работе [2] был предложен подход к дедуктивной верификации процесс-ориентированных программ. В этом методе требования формализуются в виде инвариантов циклов управления – утверждений, которые должны быть истинны при входе в цикл и между итерациями цикла.

Требования выражают связи между значениями входных и выходных переменных, но обычно не содержат информацию о связи этих значений с состояниями процессов и их таймерами. Однако такая информация необходима для доказательства условий корректности. Поэтому инвариант цикла управления помимо инварианта-требования должен включать дополнительный инвариант, содержащий такую информацию.

Задача автоматического синтеза инвариантов циклов в общем случае неразрешима. Поэтому для решения этой задачи применяются различные эвристики. Одним из подходов к генерации инвариантов циклов является метод, основанный на шаблонах. В данной работе определяются шаблоны дополнительного инварианта для роST-программ, не зависящие от требований.

Первый шаблон определяет свойства вида «Если процесс p находится в состоянии s , то значение переменной u равно v ».

Второй шаблон определяет свойства вида: «Если процесс p_1 находится в состоянии s , то процесс p_2 активен / не активен / находится в состоянии *STOP* / находится в состоянии *ERROR*». Рассмотрим случай, когда процесс p_2 останавливается и запускается только в процессе p_1 . Свойства, удовлетворяющие этому шаблону, определяются аналогично свойствам, удовлетворяющим шаблону 1, но вместо значений переменной необходимо рассматривать состояние процесса, а вместо присваивания значения – запуск и остановку процесса.

Третий шаблон определяет свойства вида «Если процесс p находится в состоянии s , то значение его таймера не превосходит t ».

Четвертый шаблон определяет свойства вида «Состояние процесса p принадлежит множеству S ». Здесь множество S состоит из всех достижимых состояний процесса p и состояний *STOP* и *ERROR*, если процесс p может находиться в этих состояниях.

Таким образом, в результате работы были определены 4 шаблона дополнительного инварианта для программ на процесс-ориентированном расширении роST [3] языка ST из семейства языков для программируемых контроллеров стандарта МЭК 61131-3. Далее планируется разработать шаблоны дополнительного инварианта, зависящие от требований.

Литература

1. *Zyubin V.E.* Hyper-automaton: A model of control algorithms // IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON–2007). Proceedings. Tomsk, 2007. P. 51–57.
2. *Breck J. et al.* Templates and recurrences: better together // Proceedings of the 41st ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation. 2020. P. 688–702.
3. *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.

П.С. Веретенников

*Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Россия*

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МЕТОДОМ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ В СРЕДЕ ИСМА

Системная динамика – направление в изучении сложных динамических систем методом компьютерного моделирования. Основными введёнными Дж. Форрестером парадигмами системной динамики являются уровни, темпы и запаздывания [1]. Уровни отражают возникающие накопления внутри системы и являются фазовыми переменными задачи Коши

$$y' = f(t, y), y(t_0) = y_0, t_0 \leq t \leq t_k \quad (1)$$

где y и f – гладкие вещественные вектор-функции; t – независимая переменная, изменяющаяся на заданном интервале $[t_0, t_k]$.

Темпы потоков определяют существующие потоки между уровнями системы и отражают их интенсивность. Функции решений, формирующие потоки, описываются алгебраическими уравнениями, правые части которых могут быть определены как кусочно-линейные функции. Запаздывание определяет задержку между входным и выходным темпами [1].

ИСМА (Инструментальная Среда Машинного Анализа) [2] – программный комплекс, предназначенный для проведения численного эксперимента над моделями сложных динамических и гибридных систем. Программный комплекс разработан на кафедре АСУ НЭТИ – НГТУ и имеет богатый многолетний опыт развития. Для анализа гибридных систем в ИСМА разработана библиотека оригинальных численных методов, которая дополнена оригинальным методом асимптотической детекции [1] для корректного обнаружения событий. В отличие от мировых аналогов, метод удовлетворяет свойству односторонности, что гарантирует эффективный вычислительный эксперимент с жесткими событийно – непрерывными системами.

Рассмотрим задачу управления односторонним движением автомобилей по мосту с материка на остров и обратно [3]. Движение управляется светофорами на материке и острове в соответствии с условиями логистики. Ставится задача разработки модели транспортных потоков, удовлетворяющих условиям логистических ограничений.

Задача успешно решена в ИСМА с использованием формализма структурных схем из класса математических моделей (1) в методологии системной динамики. Разработанная компьютерная модель протестирована на конкретном примере и конструктивно доказана ее адекватность тестовым данным. Модель может быть использована в контроллерах управления логистикой.

Литература

1. *Форрестер Д.* Индустриальная динамика. М.: Прогресс, 1971.
2. *Новиков Е.А., Шорников Ю.В.* Компьютерное моделирование жестких гибридных систем: монография. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012.
3. *Abrial J.-R.* Modelling in Event-B: System and Software Engineering. Cambridge Univ. Press, 2010.

Е.В. Рабинович¹, А.С. Туркин

*Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Россия*

¹SPIN-код: 7797-3462

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСЕЙ СИНФАЗНОСТИ ПО НЕСКОЛЬКИМ СЕЙСМОГРАММАМ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН

В основном методе сейсморазведки – методе отраженных волн – выделение интерпретатором осей синфазности целевых волн осуществляется на основе различных им первых вступлений (начал) отраженных сейсмических импульсов (ОСИ). Однако эта процедура характеризуется неопределенностью, связанной с трудностью выявления первых вступлений ОСИ в условиях сейсмических помех и шумов микросейсмической обстановки при регистрации сигналов. Присутствующие на сейсмограммах нецелевые волны также увеличивает неопределенность прослеживания осей синфазности.

Для борьбы с этими мешающими факторами применяют различные процедуры временной, частотной, скоростной и др. форм фильтрации. Такой подход, как известно, искажает частотные и фазовые характеристики зарегистрированных сигналов.

В [1] предлагается заменить субъективное выделение осей синфазности целевых волн применением локационной технологии, основанной на сверхразрешающих алгоритмах обнаружения статистической радиотехники [2] и локации фаз ОСИ, отраженных от глубинных границ исследуемой среды. Лежащий в основе технологии алгоритм со сверхразрешением обеспечивает надежное выделение и размещение на сейсмограммах осей синфазности на основе наиболее мощной фазы ОСИ, а не первого вступления.

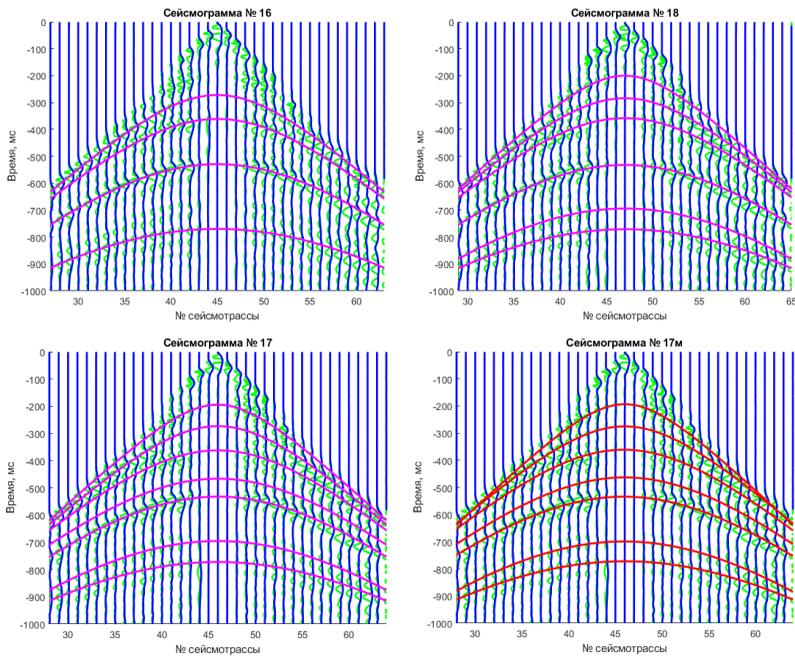
Локационная технология позволяет на сейсмотрассах с низким отношением сигнал/шум обнаруживать ОСИ, которые при другой обработке были бы пропущены. При этом увеличение числа ОСИ, обнаруженных на сейсмотрассах, увеличивает число

осей синфазности волн на сейсмограмме, что повышает разрешающую способность соответствующего временного разреза.

На сейсмограммах невысокого качества, имеющих пропуски данных или артефакты предварительной фильтрации, технология позволяет моделировать оси синфазности ранжированные по степени надежности построения.

На сейсмограммах, полученных от соседних пунктов возбуждения, число выделенных осей синфазности часто различается при том, что глубинно-скоростная модель среды сильных изменений не претерпевает. В этой ситуации локационная технология применяет алгоритм со сверхразрешением к трем таким сейсмограммам совместно. Алгоритм осуществляет накопление энергии фаз ОСИ на трассах этих сейсмограмм, обеспечивая адекватное выделение осей синфазности отраженных волн на одной (центральной).

На рисунке изображены три исходные сейсмограммы № 16–18, полученные от соседних пунктов возбуждения и «модифицированная» сейсмограмма № 17м, вычисленная локационным алгоритмом.



Число осей синфазности на сейсмограммах № 17 и 17м совпадает, но их временные и скоростные характеристики немного различаются.

Несмотря на то, что на некоторых из 22 сейсмограмм исследуемой системы наблюдения, число осей синфазности варьируется от 4 до 7, подавляющее большинство «модифицированных» сейсмограмм имеют семь осей синфазности отраженных волн. Тем самым подтверждается адекватность построения глубинно-скоростной модели среды.

Литература

1. *Рабинович Е.В.* Технология сейсмической локации. II. Построение серии годографов волн, отражённых от границ сейсмического разреза // Математические структуры и моделирование. 2023. № 2 (66). С. 49–63. DOI: 10.24147/2222-8772.2023.2.49-63.
2. *Ратынский М.В.* Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках. М.: Радио и связь, 2003. 200 с.

Е.В. Кузнецов

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ДЛЯ ОБЛАЧНОГО IDE ЯЗЫКА REFLEX

Reflex – это процесс-ориентированный язык программирования, разрабатываемый в Институте автоматизации и электротехники СО РАН (ИАиЭ СО РАН), для киберфизических систем на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК) [1]. Необходимость в таком языке резко возросла в связи с популярностью IoT, встраиваемых систем, умных устройств и т. д. [2]. Идея разработки такого языка не нова, однако существующие решения не нашли своего широкого применения. С учетом накопленного опыта в индустрии, был произведен комплексный анализ, на базе которого был создан уникальный понятный и простой язык для людей, уже работающих в отрасли.

Кроме того, чтобы стать популярным, удобным и современным языку необходима соответствующая среда разработки. Для Reflex уже разрабатывается IDE под названием RIDE построенная на базе Eclipse Theia в ИАиЭ СО РАН [3]. Eclipse Theia была выбрана потому, что ее можно запускать в браузере, это проект с открытым исходным кодом. Theia – однопользовательское приложение [4], поэтому проект RIDE создается для одновременного использования командой разработчиков.

Для разработки программы на Reflex, пользователю RIDE необходимо создать проект. Внутри проекта уже есть поддержка трансляции в C, Python и Formula Node от LabVIEW, подсветка синтаксиса Reflex. Однако существуют трудности для совместной разработки, для создания своего первого проекта и не подсвечивается структура Reflex проекта. Уже была упомянута “простота и понятность”, как одна из идей разработки языка Reflex, то необходим модуль, упрощающий управление проектом.

Таким образом цель нашей работы – разработать модуль управления проектами в облачном IDE языка Reflex. Задачи, которые необходимо решить:

- проанализировать существующие подходы к организации управления проектами в облачных IDE и специфику IDE языков Reflex;
- сформировать список требований к разрабатываемому модулю;
- спроектировать интерфейс модуля управления проектами;
- спроектировать архитектуру модуля управления проектами;
- реализовать модуль;
- интегрировать модуль в существующую IDE языка Reflex.

В результате проведенного исследования для web IDE языка Reflex был разработан модуль управления проектами, предоставляющий разработчику возможность: создавать проекты по шаблону, определять область видимости проекта, условия переиспользования, подключать к проекту сторонних разработчиков и устанавливать им роли (редактор, комментатор, читатель), объединять в проект файлы, создавать сопроводительную документацию, и для файлов проекта определять возможные функции их обработки. Разработанный модуль сокращает трудоемкость сопровождения проектов в web IDE языка Reflex.

На текущий момент проведён анализ существующих решений в области облачной разработки, сформирован список требований, спроектированы интерфейс и архитектура модуля управления проектами.

Литература

1. Anureev I.S., Zyubin V.E., Garanina N.O., Staroletov S.M. Developing Distributed Control Software with the Reflex Language: Bottle-filling System Case Study // 2022 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). IEEE, 2022. P. 683–688.
2. Gupta P., Krishna C., Rajesh R., Ananthakrishnan A., Vishnuvardhan A., Patel S.S., Kapruan C., Brahmhatt S., Kataray T., Narayanan D., Chadha U., Alam A., Selvaraj S.K., Karthikeyan B., Nagalakshmi R.,

- Chandramohan V.* Industrial internet of things in intelligent manufacturing: a review, approaches, opportunities, open challenges, and future directions // International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM). 2022. P. 1–23. URL: https://www.researchgate.net/publication/364611802_Industrial_internet_of_things_in_intelligent_manufacturing_a_review_approaches_opportunities_open_challenges_and_future_directions.
3. *Gornev I.A., Bondarchuk V.V., Liakh T.V.* Towards Multi-User Mode in RIDE Web-IDE // 2022 IEEE 23rd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM). IEEE, 2022. P. 675–678.
 4. Eclipse Theia. URL: <https://projects.eclipse.org/projects/ecd.theia>.

А.Д. Ищенко

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКСИОМАТИЧЕСКОЙ СЕМАНТИКИ ВЫРАЖЕНИЙ В ПРОЦЕСС-ОРИЕНТИРОВАННОМ ЯЗЫКЕ REFLEX

Процесс-ориентированное программирование – парадигма программирования управляющих программ, основанная на понятиях процесса и состояния процесса. Процесс-ориентированная программа определяется как множество взаимодействующих процессов, которые могут находиться в различных состояниях [1]. С каждым состоянием связано его имя и программный код, определяющий логику функционирования процесса, когда он находится в данном состоянии. Выделяются два специальных состояния **stop** и **error**, соответствующих нормальной остановке процесса и остановке процесса с ошибкой. Эти состояния называются неактивными состояниями в отличие от остальных активных состояний.

Процесс-ориентированный язык Reflex [2] 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 аксиоматической семантике языка программирования. Аксиоматическая семантика является набором аксиом и правил вывода, описывающих смысл конструкций языка программирования. Она используется для порождения условий корректности (формул некоторого логического языка) по программе и требованию к ней. Если все условия корректности истинны, то программа удовлетворяет данному требованию.

Процесс определения аксиоматической семантики языка можно разбить на несколько этапов в зависимости от вида кон-

струкций языка. Одним из таких этапов является определение семантики выражений. Язык Reflex, являясь диалектом языка Си, во многом наследует семантику Си-выражений, однако при этом имеет несколько особенностей:

1) наличие дополнительного набора операций *process p in state stop/error/inactive/active*, определяющий в каком состоянии находится процесс **p**;

2) отсутствие указателей;

3) отсутствие оператора запятой и тернарного оператора;

4) отсутствие массивов;

5) доопределение недетерминированной части семантики выражений.

Последний пункт связан с тем, что в стандарте Си порядок вычисления ветвей выражений и применения побочных эффектов не является детерминированным, что приводит к громоздкой аксиоматической семантике.

В этой работе определяется стратегия применения аксиоматической семантики для Reflex-выражений, задаваемая функцией *exr*. Эта функция принимает на вход выражение *e* и состояние *s*, в котором вычисляется это выражение и возвращает тройку, включающую терм *t* как результат символического вычисления выражения *e*, обновленное состояние *s'* и логическую формулу *d*, описывающую ограничения на область определения выражения *e*.

Символическое вычисление выражений заключается в преобразовании исходных арифметических и логических выражений языка в соответствующие термы в рамках выбранного логического языка. Ограничения на область определения выражения образуются при вычислении операций деления (/) и взятия остатка от деления (%) и соответствуют проверке деления на 0.

Семантика выражений определяется в соответствии со следующим принципом: вычисление поддеревьев и применение побочных эффектов происходит слева направо, однако определение возвращаемого результата левого поддерева происходит после применения побочных эффектов правого поддерева.

Например, следуя этому принципу, в результате выражения $y = (x = 1) + (x += 1)$, переменная *y* будет равняться 4. Сначала вычисляется левое поддерево для операции $+$. В результате по-

бочного эффекта x принимает значение 1. Затем вычисляется правое поддереву для этой операции. В результате x принимает значение 2. Так как операция присваивания возвращает `lvalue`, то левый и правый операнды операции `+` принимают значение 2 и 2, соответственно. Таким образом, после применения всех побочных эффектов, это выражение возвращает значение 4.

Литература

1. *Зюбин В.Е.* Процесс-ориентированное программирование: учеб. пособие. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2011. 194 с.
2. *Зюбин В.Е.* Язык «Рефлекс» – диалект Си для программируемых логических контроллеров // Шестая международная научно-практическая конференция «Средства и системы автоматизации» CSAF. Т. 6.

А.М. Масеевский

*Новосибирский национальный исследовательский государственный
университет, г. Новосибирск, Россия
Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

АРХИТЕКТУРА ВИРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СОЗДАНИЮ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ

При подготовке специалистов по программированию алгоритмов управления техническими объектами важно наличие возможности организации практических занятий. Один из таких возможных путей решения этой проблемы – программный комплекс, позволяющий писать и модифицировать код управляющей программы и достаточно точно воспроизводить работу технического объекта.

В области промышленной автоматизации в качестве основного элемента системы управления выступает программируемый логический контроллер (ПЛК), стоимость которых может превышать 10 тыс. долларов, не считая дополнительных модулей [1]. Кроме того, для их использования при обучении требуется наличие имитатора объекта управления (ОУ), а если имитатор физический, то, кроме самого ПЛК, обслуживание необходимо проводить и для имитатора. Дополнительно, ошибки в алгоритме управления (АУ), которые возникают в студенческих работах, приводят к поломке оборудования, что также увеличивает стоимость.

В качестве альтернативы физическому ПЛК в Институте автоматики и электрометрии было предложено использовать виртуальный ПЛК [2]. Также виртуальный ПЛК можно использовать для программной имитации объекта управления. Таким образом, в качестве основы лабораторного стенда могут быть использованы два виртуальных ПЛК, однако, при этом остаются вопросы организации их взаимодействия, а также вопросы отладки создаваемых алгоритмов и визуализации объекта управления.

Цель работы – разработка инструментальных средств для организации на базе виртуального ПЛК лабораторного практикума по изучению программирования алгоритмов управления.

Виртуальный ПЛК был разработан для целей процесс-ориентированного языка poST [3] и в него входят транслятор программы на языке poST в программу на языке интерпретатора Python при помощи абстрактного синтаксического дерева языка poST, при трансляции сохраняется семантика языка. После трансляции полученную программу можно запустить на виртуальном ПЛК с имитацией поведения работы программы на реальном устройстве, а именно с соблюдением цикла «считывание сигналов» – «обработка сигналов и исполнение одного цикла алгоритма управления» – «формирование и выдача выходных сигналов». Виртуальный ПЛК поддерживает набор команд для ввода значений входных переменных и внешнего управления: постановки на паузу и остановки исполнения алгоритма управления. Отладочная информация выводится в отдельный файл.

Предлагаемая архитектура лабораторного практикума на базе виртуального ПЛК представлена на рис. 1.

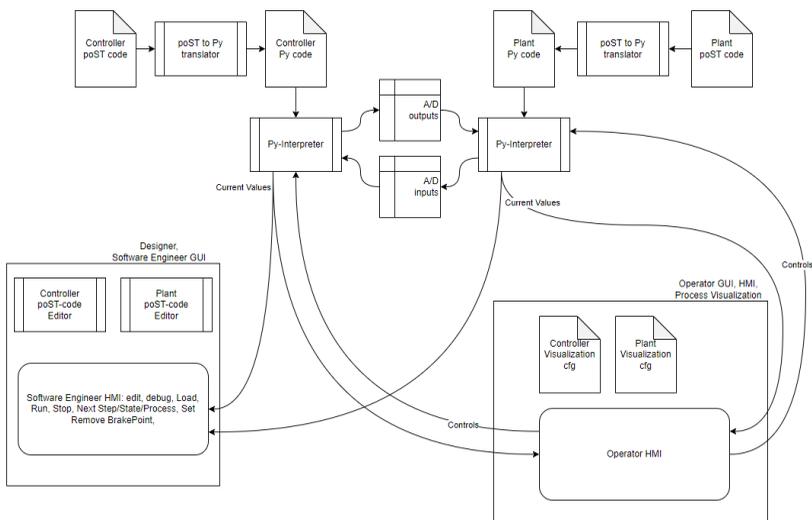


Рис. 1. Архитектура лабораторного практикума

В рамках работ по разработке инструментов для обучения специалистов запланировано разработать и собрать в единый комплекс программ вместе с виртуальным ПЛК: модуль связи между двумя виртуальными ПЛК; инструменты визуализации объекта управления и интерфейс оператора с выводом данных с виртуального объекта управления; и среду разработчика алгоритма управления с возможностью запускать программу, ставить её исполнение на паузу, исполнять программу по шагам, по одному процессу или циклу за раз, вывод отладочных данных алгоритма управления.

Литература

1. Программируемый контроллер Simatic S7-300 // ЭлектроГуру. URL: <https://electroguru.ru/promishlennie-kontrolleri/siemens/simatic-s7-300/> (дата обращения: 14.02.2024).
2. *Maseevsky A., Zyubin V.* Developing Cloud PLC for poST-Specified Software // 2023 International Russian Automation Conference (RusAuto-Con). IEEE, 2023. P. 477–481.
3. *Zyubin V. E. et al.* poST: A process-oriented extension of the IEC 61131-3 structured text language // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 35238–35250.

УДК 004.912

Н.В. Астапенко¹, Р.Р. Бурханов

*Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева,
г. Петропавловск, Казахстан*

¹SPIN-код: 3458-8319

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕГИРОВАНИЯ
И КОРРЕКТИРОВКИ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ
ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
НА ОСНОВЕ РАСПОЗНАННЫХ ТЕКСТОВ**

В современном мире объем текстовых данных растет экспоненциально из-за развития интернета, социальных сетей, цифровизации документации и других факторов. Информационные данные являются ценным ресурсом для многих областей, включая научные исследования, бизнес-аналитику, медицину, образование и многие другие. Однако, эффективное использование текстовых данных для обучения нейронных сетей требует правильного выделения и корректировки ключевых слов. Точность и эффективность этого процесса критически важны для качественного обучения моделей. На основе этих ключевых слов строятся модели и алгоритмы для различных задач, включая поиск информации, классификацию текстов, автоматическое реферирование и многое другое. Разработка системы тегирования и корректировки ключевых слов представляет собой важную и актуальную задачу в контексте быстроразвивающихся областей анализа текстовых данных и машинного обучения. Данная система позволит улучшить качество обучения нейронных сетей и повысить точ-

ность моделей, что приведет к новым возможностям и прорывам в различных сферах науки и технологий.

Цель работы – разработка комплексной системы, предназначенной для тегирования и корректировки ключевых слов в распознанных текстовых данных. Основная задача системы заключается в создании удобного и эффективного инструмента, который позволит пользователям проводить качественную предобработку текстов перед их использованием для обучения нейронной сети.

Система разработана с учетом потребностей и требований пользователей, предоставляя интерфейс для выделения и маркировки ключевых слов, а также возможность их корректировки. Данные, полученные в результате тегирования и корректировки, затем используются для обучения нейронной сети, что позволяет улучшить качество и точность модели при анализе текстовых данных.

Основные функциональные возможности системы включают в себя:

- Интуитивно понятный интерфейс для пользователей, позволяющий легко выделять ключевые слова и фразы.
- Возможность добавления, редактирования и удаления тегов для каждого выделенного слова.
- Интеграция с нейронной сетью для обработки текстовых данных с использованием тегированных ключевых слов.
- Механизм обратной связи для пользователей, позволяющий сообщать о правильности или ошибочности корректировки текста.
- Обеспечение безопасности и конфиденциальности данных пользователей, включая защиту информации при передаче по сети и хранении в базе данных.

В таблице определены функциональные и нефункциональные особенности системы тегирования и корректировки ключевых слов для обучения нейронной сети на основе распознанных текстов.

На основе выделенного функционала был разработан макет системы, представленный на рис. 1. Разработка такой системы позволит исследователям и разработчикам в области машинного обучения улучшить качество обучения нейронных сетей, что

приведет к созданию более точных и эффективных моделей для различных приложений.

Особенности системы тегирования и корректировки ключевых слов для обучения нейронной сети на основе распознанных текстов

<i>Функциональные особенности</i>	<i>Нефункциональные особенности</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Создание новых аккаутов 2. Вход по логину/паролю 3. Роли 4. Фильтр разметки 5. Отображение изображения для разметки 6. Инструментарий для разметки данных 7. Взаимодействие с базами данных 8. Двойная проверка разметки 9. Моментальная передача размеченных данных для обучения 10. Экспорт БД в формате .csv 11. Модернизация JSON 12. Хранение файлов 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Авторизация 2. Разметка данных (не демонстрируется без авторизации) 3. Администрирование (не демонстрируется пользователям без роли Администратор) 4. Управление данными (не демонстрируется пользователю с ролью Разметчик) 5. Обучение (доступна только роли Администратор)

Данная работа представляет новый подход к обработке текстовых данных с использованием системы тегирования и корректировки ключевых слов для обучения нейронных сетей, который может расширить понимание методов анализа текста и способствовать развитию области машинного обучения, особенно в контексте улучшения качества обучения и повышения точности анализа текстовых данных. Результатом будет создание инновационной системы, способствующей повышению качества обучения нейронной сети за счет предварительной обработки текстовых данных. Ожидается следующий положительный эффект от разработки:

- Разработка и реализация системы тегирования и корректировки ключевых слов, способной улучшить процесс обучения нейронных сетей на основе текстовых данных.

- Эффективное выделение и корректировка ключевых слов в текстах для обучения нейронных сетей.

- Повышение качества обучения нейронных сетей и увеличение точности моделей за счет использования разработанных методов выделения и корректировки ключевых слов.

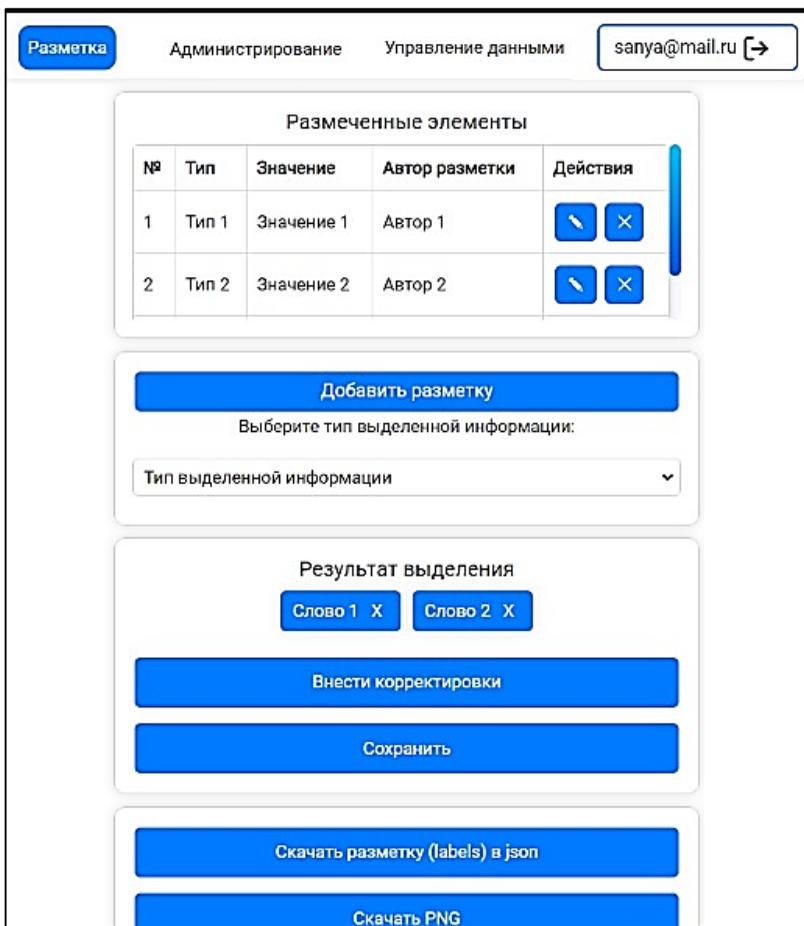


Рис. 1. Макет системы тегирования и корректировки ключевых слов для обучения нейронной сети на основе распознанных текстов

Литература

1. Singh Y., Singh Ch. Neural networks in data mining // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2005. URL: https://www.researchgate.net/publication/226999307_Neural_Networks_For_Data_Mining.

Н.В. Астапенко¹, И.Г. Тришин

*Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева,
г. Петропавловск, Казахстан*

¹SPIN-код: 3458-8319

КАТЕГОРИАЛЬНАЯ КРОСС-ЭНТРОПИЯ ДЛЯ СЕНТИМЕНТ-АНАЛИЗА ТЕКСТА С ПОМОЩЬЮ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ LSTM И GRU

Сентимент-анализ в тексте является одним из важнейших направлений исследований в области изучения общественного мнения в различных областях, включая отзывы об отелях, оценки ресторанов, комментарии в социальных сетях и многое другое. Предполагается анализ и обработка субъективной информации, такой как отношение, эмоции, точки зрения и тенденции, содержащиеся в текстовых данных.

Рекуррентные нейронные сети – это класс нейронных сетей, способных обрабатывать последовательные данные, сохраняя информацию о предыдущих состояниях в процессе обучения. LSTM и GRU – это две основные архитектуры рекуррентных нейронных сетей, которые позволяют эффективно моделировать долгосрочные зависимости в последовательных данных [1]. Поскольку текстовые данные являются последовательными по своей природе, существует тесная связь между словами и символами, глубокое обучение все чаще используется для анализа настроения текста. Рекуррентные нейронные сети используются для классификации эмоций в тексте благодаря их способности обрабатывать длинные текстовые задачи и улавливать временную информацию о словах в тексте [2].

В области обработки естественного языка и анализа настроений эффективность алгоритмов глубокого обучения зависит от выбора подходящих функций потерь. Данный выбор может существенно повлиять на производительность и обобщенность моделей анализа настроения. В этом контексте рассматри-

вается категориальная кросс-энтропия для LSTM и GRU, функция потерь, которая играет важную роль в обучении моделей.

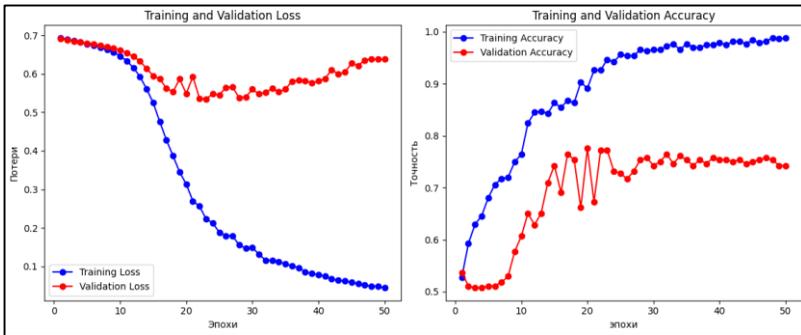
Для задачи сентимент-анализа, где обычно классифицируют тексты на две и три: положительный, нейтральный и отрицательный или более категорий, выбор функции потерь зависит от числа классов в задаче. В некоторых случаях могут использоваться и более детализированные наборы классов для учета различных оттенков эмоционального выражения, когда рассматриваются более специфичные эмоции, такие как радость, грусть, удивление и другие [3]. При работе с несколькими эмоциональными классами категориальная кросс-энтропия обеспечивает более эффективный механизм обучения для классификации. Используя эту функцию потерь, модели могут адаптироваться к различным эмоциональным тонкостям текста и извлекать значимые паттерны. Для обучения моделей сентимент-анализа с использованием рекуррентных нейронных сетей LSTM и GRU с помощью категориальной кросс-энтропии следует выполнить следующие шаги: подготовка данных, определение архитектуры модели, обучение модели, оценка модели, тонкая настройка и оптимизация [4–5].

В рамках данного исследования на этапе подготовки данных выбран тестовый набор, содержащий 400 строк примеров с положительными и с отрицательными эмоциями. Модель предназначена для обработки входных текстовых данных с использованием векторного представления слов и последовательных рекуррентных слоев. В реализации архитектуры моделей LSTM и GRU используются два слоя для извлечения последовательных признаков, и полносвязный слой с активацией softmax для классификации.

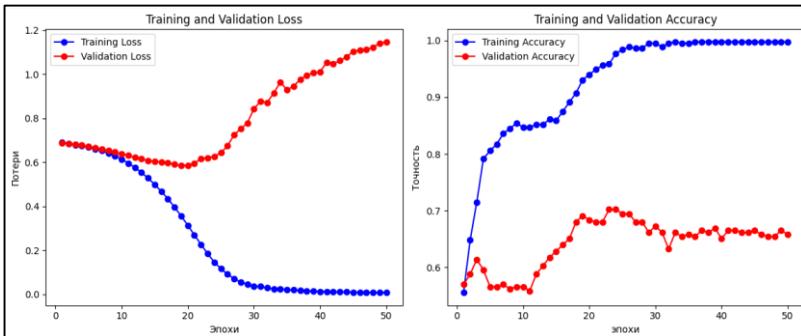
Модель LSTM обучалась средней точности около 98.61% на тестовых данных (рис. 1а). Время обучения, равное 1166.64 секунд. Графики точности и функции потерь также указывают на сходимость и хорошую обобщающую способность. Модель GRU демонстрирует высокую точность на тестовых данных, достигнув значения 99.77% после 50 эпох обучения (рис. 1б).

Однако, следует отметить, что значение функции потерь на тестовых данных увеличивалось с течением времени, что может свидетельствовать о потенциальных проблемах в обучении или переобучении модели. Время обучения модели GRU составило

1150.08 секунд, что считается приемлемым. Это может свидетельствовать о том, что модель сталкивается с проблемой переобучения, когда она начинает плохо обобщать новые данные. Однако, также стоит обратить внимание на то, что значение функции потерь на тестовых данных увеличивалось, что может свидетельствовать о некоторых сложностях в обучении модели.



а



б

Рис. 1. Категориальная кросс-энтропия (Loss) и точность (Accuracy) обучения и проверки: а) для модели LSTM; б) для модели GRU

Модели получили высокую точность предсказания, связанную с обучающими данными. Функция потерь кросс-энтропии была рассчитана для каждой из моделей на графиках. Для обучающих и тестирующих подмножеств значения потерь кросс-энтропии прогрессивно уменьшаются по мере увеличения количе-

ства эпох. Это подтверждает, что архитектуры продолжали учиться на данных непрерывно в течение всего процесса обучения. Похоже, что обучающие модели не переборщили с подмножеством обучения, поскольку разница между двумя кривыми потерь (тестирование и обучение) очень мала для каждой модели. Точность моделей при обучении достигала высоких показателей и на графиках отображено, что, начиная с 30 эпохи, модели показывают стабильность обучения. Хотя модель GRU потребовала меньше времени (средняя скорость обучения: 4 с/шаг) на выполнение по сравнению с моделью LSTM (средняя скорость обучения: 5 с/шаг) на классификацию в каждой эпохе. Общая тенденция обучения моделей останавливается на 30 эпохе, после чего наблюдается заметное замедление в улучшении показателей точности и функции потерь. После этой точки изменения в этих метриках становятся незначительными, и дополнительные эпохи обучения не приводят к существенным улучшениям. Это может свидетельствовать о достижении моделью пика своей производительности на данном этапе обучения.

Для дальнейших исследований будут проведены эксперименты с использованием большего объема данных и тщательным подбором гиперпараметров модели. Дополнительные исследования на более обширном наборе данных и тщательный подбор параметров могут существенно улучшить производительность моделей и их способность к обобщению на новые данные.

Литература

1. *Zhao Y., Qin B., Liu T., Tang D.* Social sentiment sensor: a visualization system for topic detection and topic sentiment analysis on microblog // *Multimedia Tools and Applications*. 2016. Vol. 75, no. 15. P. 8843–8860.
2. *Kim Y.* Convolutional neural networks for sentence classification. 2014. http://arxiv.org/abs/1408.5882_2014.
3. *Nandwani P, Verma R.* A review on sentiment analysis and emotion detection from text // *Social Network Analysis and Mining*. 2021. 11(1). DOI: 10.1007/s13278-021-00776-6.
4. *Gao Sh., Huang Y., Zhang Sh., Han J., Wang G., Zhang M., Lin Q.* Short-term runoff prediction with GRU and LSTM networks without requiring time step optimization during sample generation // *Journal of Hydrology*. 2020. Vol. 589. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125188.

5. *Mardanirad S., Wood D., Zakeri H.* The application of deep learning algorithms to classify subsurface drilling lost circulation severity in large oil field datasets // *SN Applied Sciences*. 2021. Vol. 3, art. 785. DOI: 10.1007/s42452-021-04769-0.

***Т.В. Лазовская¹, В.В. Паламарчук, Е.М. Разумов,
А.А. Сергеева, Д.А. Тархов², М.А. Чистякова***

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия*

¹SPIN-код: 5015-9612; ²SPIN-код: 3908-3232

СРАВНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ И МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ НА ПРИМЕРЕ НЕЛИНЕЙНОГО ИЗГИБА КОНСОЛЬНОГО СТЕРЖНЯ

Описание физических процессов с помощью математических моделей является одним из инструментов для исследования объектов и их поведения. Такие модели достаточно хорошо описывают поведение идеальных образцов, для которых известны все необходимые характеристики и коэффициенты. Но в условиях реальной жизни каждый образец имеет уникальные параметры, отклоняющиеся от параметров эталона. Даже малое отклонение может вызвать существенное расхождение в результатах описания поведения исследуемого объекта или процесса. Задача этой работы использовать нейросетевое моделирование для решения подобных задач, а именно научить нейросеть подбирать необходимые коэффициенты и описывать поведение конкретного образца, учитывая все его особенности.

Физический процесс, рассматриваемый в данной работе, представляет из себя нелинейный изгиб полого консольного стержня под действием приложенной нагрузки. Экспериментальная установка представляет из себя трубку, закреплённую одним концом на краю лабораторного стола, к свободному краю которого была приложена нагрузка: подвешено ведро, а также безмен для определения массы. Для удобства снятия точек на стержень были нанесены метки через равные промежутки. Нагрузка на

стержень происходила путем вливания воды в ведро, положение стержня фиксировалось с помощью фотоаппарата.

В качестве математической модели для описания процесса было выбрано уравнение большого статистического прогиба [1], представляющее собой дифференциальное уравнение второго порядка, имеющее вид:

$$D \frac{d^2 \theta}{ds^2} + [p + q(L - s)] \cos \theta = 0$$

Работа была разбита на несколько этапов. На первом были построены два типа приближенных нейросетевых решений поставленной задачи. В качестве приближенного решения первого типа была взята нейронная сеть вида

$$\theta = c_0 + \sum_{i=1}^n c_i \varphi_i(z),$$

с базисной функцией вида $\varphi_i(z) = th(a_i(z - \hat{z}_i))$. Веса сети подбираются, минимизируя соответствующий функционал ошибки, случайно выбирая пробные точки с помощью равномерного распределения внутри промежутка через 5 шагов линейной оптимизации [2].

Также было построено несколько моделей на основе нашей аналитической модификации численных методов [2; 3]. Первая модель получалась двукратным применением непрерывного метода Эйлера к дифференциальному уравнению, описывающему изгиб. Вторая модель получалась при применении на первом шаге исправленного метода Эйлера, а на втором – метода средней точки. В результате преобразований получается хорошо известная задача линейной регрессии.

Метод нейросетевого приближения дал достаточное приближение для 5 базисных функций. Он оказался наиболее точным (среднеквадратичное отклонение составило в среднем 0,011309). Из недостатков данного способа можно выделить достаточно большой промежуток времени, необходимый на выполнение данной программы. Первая и вторая модель, полученные аналитической модификацией численных методов, тоже оказались достаточно точными, среднеквадратичное отклонение составило 0,013206 для первого метода и 0,011892 для второго. Эти методы

оказались наиболее быстрыми, результат был получен почти мгновенно.

Литература

1. *Захаров Ю.В., Охоткин К.Г., Скоробогатов А.Д.* Нелинейный изгиб консоли распределенной нагрузкой // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. 2006. Вып. 4(11). С. 21–24.
2. *Tarkhov D., Vasilyev A.* Semi-Empirical Neural Network Modeling and Digital Twins Development; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2020.
3. *Lazovskaya T., Tarkhov D.* Multilayer neural network models, based on grid methods // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 158. DOI: 10.1088/1757-899X/158/1/012061.

М.Д. Закирова, Д.А. Лавыгин, О.А. Скрипкин, Д.А. Тархов¹
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия
¹SPIN-код: 3908-3232

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО МЕТОДА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

В современном мире существует множество неустойчивых систем, требующих стабилизации. Задача управления такими системами является практически важной проблемой управления. Сложность реализации подобных систем, заключается в нелинейности уравнений, которые описывают их поведение. Также имеются сложности в процессе моделирования из-за отличия реальной системы от её математической модели. Существует разные подходы к решению проблемы управления подобных систем. Рассматриваемое в данной работе решение основывается на принципе максимума Понтрягина [1], в котором указывается, что оптимальное по времени ограниченное управление состоит в совершении двух шагов с управлениями разных знаков. В работе рассматривается два подхода определения длительности указанных шагов. Первый метод основан на линеаризации системы уравнений, описывающих движение динамической системы, с последующим подбором оптимальных шагов управления, в результате которых линеаризованная система приводится к положению равновесия. Вторым подходом является приведение заданной системы в окрестность начала координат с использованием неявного метода Эйлера [2]. В зависимости от положения точки, связанной с координатой маятника в определенный момент времени, используется один из описанных методов.

На основе вычислительных экспериментов метод Эйлера показал большую эффективность в более отдаленных положениях точек, относительно начала координат, соответственно применение линеаризации успешно работает в окрестности начала

отсчета. Но так как переход от линеаризованной системы к изначальной не является полностью равносильным, точка может выйти за пределы области применения метода линеаризации. Следовательно, оптимальным решением является совершение итераций с применением метода Эйлера до момента перехода рассматриваемой точки в окрестность начала координат. Исходя из этого идея состоит в комбинировании двух описанных методов. Данную задачу предлагается решить с помощью создания и обучения нейронной сети, которая в зависимости от положения точки, применяет оптимальный способ её перевода в ожидаемое положение, что поможет нам создать комбинированный, исправно работающий для любых начальных условий метод.

В процессе подбора базисных функций для анализа и последующего сравнения результатов их применения для рассматриваемой задачи были исследованы два типа сетей: Персептрон и RBF с гауссианом в качестве базисной функции [3]. Процесс обучения был произведен в несколько этапов. На первом этапе производится запуск метода линеаризации с изменением числа шагов и размера окрестности начала координат для случайных точек, равномерно распределённых по области. Далее обучение нейронных сетей обоих типов производится с варьированием количества нейронов. На третьем этапе производился запуск комбинированного метода, с параллельной проверкой выхода нейронной сети на каждом шаге. Если выход нейросети больше 0, то применялись два подшага по методу линеаризации. Если меньше нуля, то делалось два подшага по методу Эйлера и так на каждом этапе.

По результатам эксперимента, при большем количестве нейронов сеть типа RBF становится более успешной и справляется с приведением точки в окрестность гораздо быстрее, чем персептрон. При увеличении нейронов обе разновидности нейросети демонстрируют лучшие показатели по времени управления. Самые успешные показатели по времени продемонстрировал тип сети RBF с максимальным количеством нейронов, что показало быстрое время приведения в окрестность большинства точек на всех этапах обучения при разных ограничениях, особенно при малом числе нейронов, что делает ее более эффективной в условиях ограниченных ресурсов.

В работе предложена и протестирована нейросетевая система, возвращающая перевернутый маятник в окрестность неустойчивого положения равновесия при отклонении от него. В условиях ограниченных ресурсов или при жёстких требованиях на обеспечение успеха управления рекомендуется использовать в качестве нейронной сети, управляющей выбором метода управления, персептрон. В условиях, когда критичным является время управления целесообразно использовать RBF-сеть с гауссианом в качестве базисной функции.

Литература

1. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1969.
2. Тархов Д.А., Суббота А.Д., Суриков И.Ю. Применение приближенных многослойных методов решения дифференциальных уравнений к задаче стабилизации перевернутого маятника. 2017. С. 63–65.
3. Васильев А.Н., Тархов Д.А. Нейросетевое моделирование. Принципы. Алгоритмы. Приложения. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009.

**М.Д. Закирова, А.П. Корчагин, Д.А. Лавыгин,
О.А. Скрипкин, Д.А. Тархов¹, Д.А. Чернуха**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия
¹SPIN-код: 3908-3232*

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ РАЗВОДНОГО МОСТА КАК БЛОКА КОМПЛЕКСНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В современном мире усовершенствованные математические модели и принципиально новые подходы играют ключевую роль в различных инженерных областях. Примером, предложенным в данной работе, является использование нейросетевых моделей для сопровождения и контроля состояния на протяжении всего жизненного цикла многосоставных инженерных систем (проектирование, эксплуатация, демонтаж).

В последние годы с помощью нейронных сетей решено много прикладных задач. Данный подход успешно используются для моделирования поведения физических систем, особенно актуальным нейросетевой метод становится в контексте динамических нагрузок, изменяющихся параметров, климатических изменений и других факторов, влияющих на сложные комплексные конструкции, в том числе и на мостовые. Часто используемые в решении динамических задач численные методы по своей сути всегда несут некоторую ошибку приближения и могут быть времязатратными, когда как решения, получаемые в виде функций с помощью нейронной аппроксимации, по результатам многих исследований [1; 2], несут больше информации о поведении объекта и могут использоваться в дальнейших вычислениях более эффективно. Глобальной идеей здесь является создание цифрового двойника объекта с нелинейным поведением, который позволит производить непрерывный мониторинг вкупе с широкой

сетью датчиков и даст возможность эффективно и оперативно управлять этой сложной системой.

Двигатели являются важными компонентами динамических систем разного типа, так как преобразовывают энергию, необходимую для функционирования этих систем. Математическое моделирование двигателей часто осложняется невозможностью оценить и найти взаимосвязи между различными процессами нелинейной динамики, происходящими внутри механизма [3], при этом важность данного этапа изучения реальных объектов особо актуальна в авиационной, автомобильной промышленности и общей инженерной практике. В данной работе нейросетевые методы дорабатывают и совершенствуют классические подходы к моделированию составной части механизма разводного моста [4] – электродвигателя. Одним из первых этапов является упрощение дифференциальной модели рассматриваемого блока моста с определением значений коэффициентов уравнений и форм входных функций, например, по данным датчиков, расположенных на функционирующих мостовых системах. Этот этап позволяет адаптировать модель двигателя к нейросетевому анализу и дает возможность в дальнейшем подобрать оптимальную архитектуру сети, в нашем случае – многослойный персептрон, получить качественно лучшие зависимости искомых характеристик. Принцип обучения нейросети основан на использовании экспериментальных данных. В ходе исследования предлагается сравнить результаты, полученные с использованием нейронных сетей и аналитической модификацией метода Хойна, с решениями, полученными с помощью стандартных вычислительных методов. Далее описанная процедура может быть распространена и на другие элементы системы.

Нейросетевые методы имеют широкую область применимости [5], что позволяет использовать их для моделирования сложных и уникальных объектов таких как, к примеру, рассматриваемые мостовые конструкции. Стандартная математическая модель в виде дифференциальных уравнений может быть заведомо недостаточно точной, однако нейронные сети нивелируют данную проблему, позволяя уточнять модель конкретного объекта на основе данных наблюдений.

Литература

1. *Lazovskaya T., Malykhina G., Tarkhov D.* Physics-based neural network methods for solving parameterized singular perturbation problem. *Computation*. 2021; 9(9):97. DOI: 10.3390/computation9090097. (In Eng.)
2. *Rai R., Sahu C.K.* Driven by Data or Derived through Physics? A Review of Hybrid Physics Guided Machine Learning Techniques with Cyber-Physical System (CPS) Focus. *IEEE Access* 2020, 8, 71050–71073.
3. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ / под ред. Е. Ю. Малиновского. М.: Машиностроение, 1980. 78 с.
4. *Ащеулов А.В., Белов А.А., Ванинов В.И.* Гидравлические приводы разводных мостов раскрывающегося типа. Состояние вопроса, основы расчета и конструирования / под общ. ред. А.В. Ащеулова. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004.
5. *Васильев А.Н., Тархов Д.А.* Нейросетевое моделирование. Принципы. Алгоритмы. Приложения. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 10 с.

Т.В. Лазовская

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код: 5015-9612*

О МНОГОУРОВНЕВЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЯХ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ С АРХИТЕКТУРОЙ, ОСНОВАННОЙ НА ФИЗИКЕ

Последнее время большую популярность в связи с развитием технологий глубокого обучения обрели нейросетевые модели, обучающиеся на больших данных. При этом все еще остаются области моделирования, в которых получение большого числа данных или наблюдений невозможно или является дорогостоящим процессом. В условиях недостатка данных в классическом понимании для обучения нейронных сетей используется любая другая гетерогенная информация о физике моделируемых объектов [1]. В частности, при наличии дифференциальных уравнений, описывающих процессы, происходящие с рассматриваемым объектом, и введении в целевую функцию обучения слагаемых, соответствующих известным дифференциальным уравнениям и, при наличии, граничным условиям, возникают физически-информированные нейронные сети [2]. Такие сети позволяют построить модели при минимальном числе данных наблюдений и измерений. Дело в том, что обучение с помощью дифференциальных уравнений наделяет нейронную сеть способностью понять характер целевого объекта, а дальнейшее обучение по данным измерений персонифицирует полученную модель. Уже в этом простейшем случае данный вид моделирования можно отнести к многоуровневому [2].

Несмотря на широкий успех физически-информированных нейросетевых моделей, все еще открытым остается вопрос выбора архитектуры нейронной сети, которая затем обучается на имеющихся гетерогенных данных различной точности. В работе [3] был предложен метод построения приближенных аналитиче-

ских моделей по известным дифференциальным уравнениям, описывающим объект с некоторой точностью, которые далее были отнесены к нейронным сетям с архитектурой, основанной на физике (РВА) [4]. Получающиеся в результате аналитические функции могут быть рассмотрены как глубокие нейронные сети. При этом, в классических подходах при выборе архитектуры нейронной сети требуется установить значения таких параметров как тип сети, число слоев, число нейронов в каждом слое и типы базисных функций для каждого нейрона. Архитектура, основанная на физике, формируется автоматически после выбора базового численного аналитического метода [4] и глубины сети. Другим важным преимуществом нейросетевых моделей РВА является тот факт, что сама построенная модель еще до обучения с некоторой точностью является приближением целевой модели. Инициализация параметров нейронных сетей традиционных физически-информированных сетей в основном происходит случайным образом. То есть сеть РВА является моделью на некотором уровне сразу после построения, что, кроме того, обеспечивает быструю сходимость к необходимому минимуму целевой функции потерь.

На следующем уровне происходит обучение построенной нейросетевой модели с помощью типовых алгоритмов оптимизации функции потерь, которые используются для обучения физически-информированных сетей. В результате возникает физически-информированная нейросетевая модель РВА (PINN-РВА).

Еще одной особенностью нейросетевых моделей РВА является естественное включение в саму сеть неизвестных параметров задачи, например, при решении обратных задач. Если в классических физически-информированных сетях исследователь сам определяет, как такие параметры будут отражены в нейронной сети, то в моделях РВА они автоматически включаются в аналитическое выражение для сети в ходе применения аналитической модификации выбранного базового численного метода.

Таким образом, на следующем уровне построения модели, когда обучение происходит на основе данных измерений более высокой точности, кроме дополнительной настройки параметров сети может быть решена и обратная задача идентификации параметров.

Эффективность предложенных нейросетевых моделей PINN-PBA была продемонстрирована в ряде экспериментов. Так, в [4] решались прямая и обратная задачи моделирования процессов в химическом реакторе. Было показано, что простейшая неглубокая нейросетевая модель начального уровня с архитектурой, основанной на физике, после дальнейшего обучения получается относительно высокую точность, имея преимущество в размер и скорости обучения в сравнении с классическими физически-информированными сетями.

Литература

1. *Васильев А.Н., Тархов Д.А.* Нейросетевое моделирование. Принципы. Алгоритмы. Приложения. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009.
2. *Meng X., Karniadakis G.E.*, A composite neural network that learns from multi-fidelity data: Application to function approximation and inverse PDE problems // *Journal of Computational Physics*. 2020. Vol. 401, 109020.
2. *Lazovskaya T., Tarkhov D.* Multilayer neural network models based on grid methods // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2016. 158, 012061.
3. *Tarkhov D., Lazovskaya T., Malykhina, G.* Constructing Physics-Informed Neural Networks with Architecture Based on Analytical Modification of Numerical Methods by Solving the Problem of Modelling Processes in a Chemical Reactor // *Sensors*. 2023. Vol. 23, iss. 2. Art. 663.

В.В. Паламарчук

*Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия*

ПОСТРОЕНИЕ ОБЩЕЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ РАЗВОДНОГО МОСТА НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ЕГО ОТДЕЛЬНЫХ БЛОКОВ

Нейросетевое моделирование представляет собой высокоэффективный метод анализа данных, который находит широкое применение в различных областях науки и техники, включая цифровизацию, робототехнику, сферу промышленности, финансовую аналитику и многие другие [2; 3]. Особенно актуальной является применение нейронных сетей для класса задач, связанных с высоким уровнем неопределенности и требованиям к получению достаточно точного решения за максимально короткий промежуток времени. К ним относится анализ поведения мостовых конструкций при динамическом воздействии на них для извлечения функциональных зависимостей между параметрами конструкции.

Сложность и оригинальность данной задачи в том, что требуется согласовать нейронные модели отдельных компонентов единого крупного технического объекта. В данный момент существует общепризнанный подход в моделировании типовых технических объектов, например двигателей, насосов, клапанов подпитки [1], однако в условиях, когда объект имеет высокую степень неопределенности в физических параметрах, требуются новые решения, которые бы дополняли классические модели. Предлагается создание нейросетевой модели конструкции разводного моста как единого целого.

Разводной мост представляет собой высокотехнологичную инженерную конструкцию, обладающую уникальными характеристиками [4]. Они предназначены для пересечения водных преград и обеспечения проезда судов в местах с интенсивным мор-

ским или речным трафиком. Каждый разводной мост – это результат длительного исследования и разработки, учитывающий факторы, такие как плавучесть, нагрузка, скорость ветра и многое другое. Компонентами разводного моста являются насос с регулятором, клапан давления, нерегулируемый насос управления, клапан подпитки, гидроцилиндр, трубопровод и гидрораспределитель. Классическая блок-схема, представляющая в графическом виде традиционную модель моста, имеет в качестве данных, которые поступают на вход, данные, полученные с датчиков. Эти же данные могут использоваться при обучении нейронных сетей. Решаемые с помощью нейронных сетей дифференциальные уравнения обычно являются всем известными уравнениями динамики и уравнениями гидрогазодинамики (например, применяется уравнение Бернулли для расчета скорости потока жидкости). Применение такого подхода на отдельном блоке продемонстрировано в более ранних работах [5].

Далее построенные нейросетевые модели каждого блока объединяются в общую нейросетевую модель моста, с учётом основных влияющих на работу конструкции факторов, такие как ветер, динамика нагрузки и т. д. Для демонстрации значимости учета переменчивых факторов рассмотрим ветровую нагрузку, которая играет значительную роль в процессе разводки моста, так как сила ветра может пагубно влиять на устойчивость механизмов разведения конструкции [6]. Определение характера влияния ветра на процесс разводки моста требует тщательного анализа и рассмотрения при проектировании и эксплуатации разводных мостов. Ключевой задачей является создание математической модели, способной обеспечивать точные и оперативные решения с минимальными затратами. В частности, основное внимание уделяется оптимизации количества датчиков для обеспечения эффективного и надежного управления процессом разведения моста.

Применение нейронных сетей для управления разводными мостами и оптимизации числа датчиков имеют высокие преимущества по сравнению с классическими методами. Наряду с аппроксимацией сложных кривых и моделированием динамических процессов, нейросетевой метод предлагает точное решение, которое значительно сократит расходы на эксплуатацию мостов и обеспечит более эффективное управление. Более того, нейрон-

ные сети, основанные на приближенных численных решениях дифференциальных уравнений, могут удовлетворить всем основным требованиям исходной задачи, что подчеркивает их потенциал для успешного применения в данной сфере.

Литература

1. *Ащеулов А.В., Белов А.А., Ванинов В.И.* Гидравлические приводы разводных мостов раскрывающегося типа. Состояние вопроса, основы расчета и конструирования / под общ. ред. А.В. Ащеулова. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004.
2. *Васильев А.Н., Тархов Д.А.* Нейросетевое моделирование. Принципы. Алгоритмы. Приложения. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 528 с.
3. *Lazovskaya T., Malykhina G., Tarkhov D.* Physics-based neural network methods for solving parameterized singular perturbation problem. *Computation*. 2021. Vol. 9, no. 9 (97). DOI: 10.3390/computation9090097. (In Eng.).
4. *Негомедзянова А.А., Овчинников И.Г.* О конструкции разводных мостов // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15, № 2. URL: <https://esj.today/PDF/86SAVN223.pdf>.
5. *Закирова М.Д., Корчагин А.П., Лазовская Т.В., Лавыгин Д.А., Паламарчук В.В., Скрипкин О.А., Тархов Д.А., Чернуха Д.А.* Аппроксимация нелинейной зависимости механической характеристики электродвигателя с помощью нейросетевого метода. 2023. С. 1–11.
6. *Соловьев С.Ю.* Аэродинамическая устойчивость большепролетных мостов // Транспорт Российской Федерации. 2016. № 5 (66). С. 47–50.

М.О. Дудич, Н.Н. Максимова¹

Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия

¹SPIN-код: 8913-2824

СВЁРТОЧНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЛЕГКИХ*

Искусственный интеллект (ИИ) является одной из ключевых технологий, играющих все более значимую роль в науке и бизнесе. В настоящее время, с постоянным ростом объема данных и сложности задач, ИИ и методы машинного обучения становятся все более необходимыми. Искусственный интеллект и машинное обучение уже оказали значительное влияние на различные области. В частности, методы ИИ находят свое применение в медицине для обработки и анализа большого количества медицинских данных и для диагностики и выработке рекомендаций для лечения различных заболеваний.

В работе представлена свёрточная нейронная сеть для классификации заболевания легких по набору данных рентген-снимков грудной клетки [1]. Данный набор представляет собой коллекцию рентгенограмм грудной клетки, классифицированных на 9 различных категорий в соответствии с их наиболее важными характеристиками. Таким образом, с точки зрения постановки задач МО данная проблема относится к задачам многограновой классификации. Общее количество изображений составляет 6743 снимка. Данный набор был поделен на обучающий (5394 снимка) и тестовый (1349 снимков, или 20 %).

В настоящее время одним из наиболее популярных методов МО и ИИ для обработки изображений является сверточная нейронная сеть (Convolutional Neural Network, CNN) [2]. Архитектура нейронной сети представляется в виде последовательно так называемых сверточных слоев, состоящих непосред-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект № 122082400001-8).

ственно из свертки (одной или более) и пуллинга (пространственного объединения).

Нейронная сеть для решения поставленной задачи построена средствами библиотеки TensorFlow языка программирования Python. Архитектура нейронной сети имеет следующий вид:

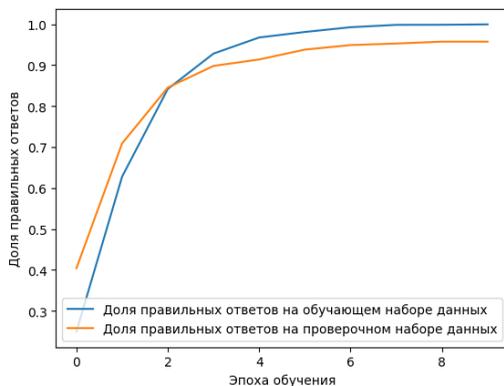
- входной слой, принимающий черно-белое изображение размера 120×120 пикселей в виде соответствующей матрицы;
- слой свертки, состоящий из 256 ядер размера 3×3 , с функцией активации Relu;
- слой MaxPooling2D размера 2×2 ;
- слой свертки, состоящий из 512 ядер размера 3×3 , с функцией активации Relu;
- слой MaxPooling2D размера 2×2 ;
- слой Flatten для развертки полученной матрицы признаков в вектор;
- полносвязный слой из 64 нейронов с функцией активации Relu;
- выходной полносвязный слой из 9 нейронов (по количеству классов изображений) с функцией активации Sigmoid.

Тем самым, при обучении нейронной сети требуется подобрать значения 26873481 параметров.

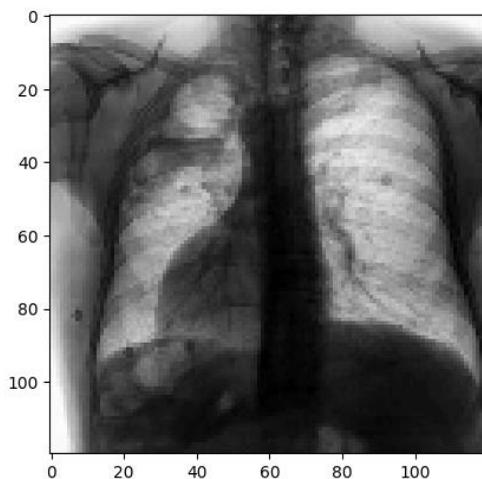
Настройки нейронной сети при ее обучении были следующие: функция ошибки – категориальная кроссэнтропия, метод оптимизации – Nadam, метрика качества обучения – Accuracy, размер валидационной выборки – 20 %, размер подвыборки – 100 единиц, количество эпох – 10.

Результат обучения по эпохам представлен на рис. 1а. Качество обучения на тестовых данных составило 94,66%. Для изображения, представленного на рис. 1б, нейронная сеть правильно определила тип заболевания (дегенеративное инфекционное заболевание).

Разумеется, для внедрения в медицинскую практику полученного качества обучения недостаточно. Для получения более качественных результатов в рамках дальнейшей работы планируется построение нейронных сетей более сложной архитектуры (например, сети типа ResNet) и обучать их на изображениях больше размерности.



а)



б)

Рис. 1. Иллюстрация к результатам обучения:
 а) для правильных ответов для тренировочной и валидационной выборки;
 б) пример рентгенограммы

Литература

1. X-ray Lung Diseases Images (9 classes). URL: <https://www.kaggle.com/datasets/fernando2rad/x-ray-lung-diseases-images-9-classes>.
2. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение. Перевод с английского А.А. Слинкина. 2-е изд. М.: ДМК Пресс, 2018. 652 с.

Д.А. Борисов, К.И. Будников¹

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

¹SPIN-код: 4580-0963

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Глубокое обучение широко используется во всевозможных сферах науки и техники. Одна из основных задач глубокого обучения – это анализ данных, поэтому оно активно применяется в этой области и, в частности, в анализе сетевого трафика. Данные методы позволяют выявить закономерности, которые могут способствовать оптимизации работы сети. Цель работы – исследование применения глубокого обучения для анализа сетевого трафика.

К основным направлениям применения нейросетей в этой области можно отнести:

1. Определение подозрительной активности: нейросети могут выявлять подозрительную активность, такую как DoS-атаки, фишинг, вирусы и другие угрозы.

2. Оптимизация работы сети: нейросети могут помочь в оптимизации трафика, например, для улучшения качества обслуживания (QoS) или для более эффективного использования сетевых ресурсов.

3. Управление сетью: нейросети могут помочь, например, при определении проблем с производительностью сети и сделать предложения для их устранения.

4. Контроль использования ресурсов: нейросети могут помочь определить, как сетевые ресурсы используются, и помочь в планировании и расширении сети.

5. Контроль доступа: нейросети могут помочь в контроле доступа к сети, например, для предотвращения несанкционированного доступа или для обеспечения соответствия политике безопасности.

Глубокие нейронные сети в последнее время также стали одной из самых популярных технологий, применяемых в распознавании образов. Для создания различных моделей зачастую используются сверточные нейронные сети (CNN), рекуррентные нейронные сети (RNN), и методы основанные на автоэнкодерах, каждый из этих методов имеет преимущество в различных областях анализа трафика.

Так, например, метод основанный на сверточных нейросетях в анализе VPN соединений показал следующие достаточно высокие результаты

Method	Dataset	Precision(%)	Recall(%)	F1-score(%)
1D-CNN	ISCX VPN-nonVPN	98.65	98.64	98.64

где

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$F1 - score = \frac{2TP}{FP + 2TP + FN}$$

Метод основанный на автоэнкодерах также показал высокий результат в области сетевой безопасности и достиг средней точности предсказаний в 84.2 % на наборе данных NSL-KDD. Он содержит данные сетевого трафика, которые были классифицированы как нормальные или аномальные.

Нейронные сети достаточно точно делают предсказания событий, причем в совершенно разных областях анализа данных. Как мы видим, глубокое обучение достаточно хорошо показывает себя и в анализе сетевого трафика.

Литература

1. *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.
2. *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>.

3. *Fannia Pacheco*. A framework to classify heterogeneous Internet traffic with Machine Learning and Deep Learning techniques. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389128619313544?via%3Dihub>.
4. *Tiago Prado Oliveira, Jamil Salem Barbar & Aleksandro Santos Soares*. Applying deep learning approaches for network traffic prediction. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-44917-2_6.
5. *Vinayakumar R., Soman K.P., Poornachandran P.* Applying deep learning approaches for network traffic prediction. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8126198>.

Р.В. Котов, К.И. Будников¹

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

¹SPIN-код: 4580-0963

РАЗРАБОТКА ТЕСТОВОГО СТЕНДА ДЛЯ ЭМУЛЯЦИИ MODBUS ТРАФИКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В АСУ ТП

Развитие производства и повышение его эффективности в различных отраслях промышленности является одним из ключевых приоритетов Правительства Российской Федерации. Достижению этой цели в значительной мере способствует внедрение и реализация технологий Индустрии 4.0 [1].

Создание цифровых двойников (ЦД) – один из ключевых пунктов Индустрии 4.0 [2]. Их создание во многом базируется на технологии АСУ ТП.

АСУ ТП имеют структуру, которая разделяется на уровни абстракции, это можно заметить, например, на модели подготовленным промышленным университетом Perdue [3]. В данном исследовании рассматривается нижний уровень модели. При его создании:

- На оборудование устанавливаются датчики и исполнительные устройства;
- Для управления датчиками и исполнительными устройствами программируется ПЛК;
- Конфигурируется OPC сервер, который агрегирует информацию, получаемую от ПЛК в теги;
- Конфигурируется диспетчерское ПО, которое преобразует данные от OPC сервера в визуальное представление.

При создании системы из самых частых мест возникновения необходимости эмуляции – это уровень интеллектуальных устройств, где необходимо не только создать необходимый трафик, но и промоделировать физический процесс.

Эмулировать работу устройств можно за счет использования программных средств для программирования ПЛК с подклю-

чаемыми или встроенными средствами виртуализации. Среди подходящих по параметрам средств можно выделить требующий приобретения лицензии TIA Portal и распространяющийся в открытом доступе CoDeSys. Однако при работе с такими средами необходимо учитывать, что:

- Они платформозависимые, имеют поддержку только на ОС Windows;
- Для работы необходимо знать принципы программирования ПЛК;
- Нет возможности выбора необходимых сетевых интерфейсов при работе с Industrial Ethernet шинами;
- Ограничены в виртуализации ПЛК конкретных моделей производителей;
- Имеют трудности при работе с настройками расширений для виртуализации.

Создание инструмента, написанного на доступном языке программирования (ЯП), которое устраняет приведенные недостатки, является целью темы разработки «Тестовый стенд для эмуляции Modbus трафика интеллектуальных устройств АСУ ТП».

Для гарантии платформонезависимости при проектировании «Тестового стенда» для создания кодовой базы был выбран ЯП C# с использованием инструментов платформы Microsoft .NET Core. Помимо этого, выбор обусловлен распространенностью данного ЯП для программирования диспетчерского ПО для средств автоматизации.

Для обеспечения взаимодействия эмулированных устройств и тестируемых компонентов АСУ ТП в обычных Ethernet сетях выбран протокол Modbus TCP.

«Тестовый стенд» представляет собой решение, имеющее компоненты:

- проект «App», содержащий точку загрузки приложения и инъекцию зависимостей;
- проект «Core», содержащий реализации необходимых для пользователей интерфейсов;
- проект «SimulationLib», содержащий абстракции контроллеров и их компонентов.

Добавление нового объекта эмуляции состоит реализации интерфейса «IPc.cs», где определяются параметры:

- Идентификационный номер;
- Переменные регистров;
- Состояние в момент времени t.

Такой простой механизм позволит персоналу без знаний области программирования ПЛК тестировать диспетчерское ПО и другие интеллектуальные компоненты АСУ ТП.

Литература

1. *Абрамов В.И. и др.* Теоретические и практические аспекты создания цифрового двойника компании // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12, №. 2. С. 967–980.
2. *Котов Р.В.* Влияние концепции «Индустрия 4.0» на тенденции развития архитектур АСУ предприятий // Информационные технологии. Научный инжиниринг: материалы 61-й Междунар. науч. студ. конф. 17–26 апреля 2023 г. / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2023. С. 70.
3. *Williams T.J.* The Purdue enterprise reference architecture // Computers in industry. 1994. Т. 24, №. 2–3. С. 141–158.

М.Е. Подгорный, К.И. Будников¹

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

¹SPIN-код: 4580-0963

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПОЗВОНОЧНИКА С ПОМОЩЬЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В постоянно меняющемся ландшафте медицинской диагностики интеграция передовых технологий приобрела первостепенное значение для повышения точности, эффективности и, в конечном счете, результатов лечения пациентов. Одним из таких революционных достижений является внедрение алгоритмов машинного обучения в сферу радиологии, особенно для диагностики заболеваний позвоночника.

В данной работе представлен анализ методов машинного обучения, применяемых для диагностики заболеваний позвоночника. Для исследования были выбраны 4 заболевания: сколиоз, компрессионный перелом, остеопороз и спондилолистез. Для каждого заболевания используется свой метод оценки: для сколиоза – угол Кобба, для компрессионного перелома – индекс G (Genant), для остеопороза – измерение рентгеновской плотности (РП) тел позвонков и перевод в МПК (минеральная плотность кости), для спондилолистеза – соотношение положения между верхними и нижними телами позвонков. Для каждого метода использовались сверточные нейронные сети, которые лучше всего себя показывают в задачах компьютерного зрения.

Для определения угла Кобба в диагностике сколиоза в [1] использовалась сеть U-Net, для выделения позвоночного столба и проведения касательных, на основе которых определялся угол Кобба. Обучение нейронной сети на качественно подготовленном датасете позволило правильно определить угол Кобба на более чем 85 % рентгенограмм.

Для расчета индекса G в диагностике компрессионного перелома в [2] использовалась двухэтапная модель, в основе которой лежит модель схожая по архитектуре с U-net и 2D-soft-argmax-функцией в конце, позволяющей выделить координаты предсказанного центра. И модель на основе YOLOv3, которая детектирует каждый позвонок после чего размечает 6 точек, соответствующих вертикальным размерам тел (вентральному, медиальному и дорсальному). Классификация позвонков по степеням компрессии по Genant производится алгоритмом с точностью 81,5 % (95 % ДИ 79,8–83,2), классификация пациентов – с точностью 73,8 % (95 % ДИ 67,0–80,6).

Для диагностики остеопороза в [3] использовался алгоритм ИИ Genant-IRA, разработанный российской компанией Айра Лабс, который схож с алгоритмом для расчета индекса G, так как остеопороз тесно связан с компрессионными переломами. В данной задаче также использовались сети U-Net и YOLOv3. Результаты алгоритма оказались очень близки с оценкой экспертов.

Для определения спондилолистеза в [4] использовались две модели глубокого обучения Faster R-CNN и RetinaNet. С точки зрения эффективности классификации, Faster R-CNN превзошел Retina по точности. Обученная модель на наборе независимых тестов показала F1-score = 0.935, recall = 0.935, precision = 0.935. По сравнению с оценкой лечащих врачей в ортопедии эффективность модели была значительно выше. С помощью искусственного интеллекта диагностические показатели группы врачей были значительно улучшены.

Проведенный анализ показал, что использование алгоритмов машинного обучения помогает ускорить процесс диагностики, а также повышает точность, обеспечивая более объективный и последовательный анализ рентгенологических исследований.

Литература

1. *Лейн Г.А., Нечаева Н.С., Мамедова Г.М. и др.* Автоматизация анализа рентгенограмм позвоночника для объективизации оценки степени тяжести сколиотической деформации при идиопатическом сколиозе (предварительное сообщение) // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2020. Т. 8, вып. 3. С. 317–326.

2. Петрайкин А.В., Белая Ж.Е., Киселева А.Н., Артюкова З.Р., Беляев М.Г., Кондратенко В.А., Писов М.Е., Соловьев А.В., Сморчкова А.К., Абуладзе Л.Р., Києва І.Н., Феданов В.А., Яссин Л.Р., Семёнов Д.С., Кудрявцев Н.Д., Щелькалина С.П., Зинченко В.В., Ахмад Е.С., Сергунова К.А., Гомболевский В.А., Низовцова Л.А., Владимирский А.В., Морозов С.П. Технология искусственного интеллекта для распознавания компрессионных переломов позвонков с помощью модели морфометрического анализа, основанной на сверточных нейронных сетях // Проблемы эндокринологии. 2020. Т. 66, № 5. С. 48–60.
3. Артюкова З.Р., Кудрявцев Н.Д., Петрайкин А.В., Абуладзе Л.Р., Сморчкова А.К., Ахмад Е.С., Семенов Д.С., Беляев М.Г., Белая Ж.Е., Владимирский А.В., Васильев Ю.А. Применение алгоритма искусственного интеллекта для оценки минеральной плотности тел позвонков по данным компьютерной томографии. Медицинская визуализация. 2023; 27 (2): 125–137.
4. Zhang J., Lin H., Wang H., Xue M., Fang Y., Liu S., Huo T., Zhou H., Yang J., Xie Y., Xie M., Cheng L., Lu L., Liu P., Ye Z. Deep learning system assisted detection and localization of lumbar spondylolisthesis. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2023. 11:1194009. DOI: 10.3389/fbioe.2023.1194009.

М.П. Помогаев, К.И. Будников¹

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

¹SPIN-код: 4580-0963

ПОСТАНОВКА ДИАГНОЗОВ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИТИЧЕСКИХ И ГЕНЕРАТИВНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В настоящее время собраны огромные объёмы медицинских данных, которые могут быть проанализированы медицинскими экспертами для улучшения диагностики заболеваний. К ним можно отнести данные анамнеза, биохимических исследований, разного рода изображения.

При стандартной процедуре обслуживания пациента врачам для постановки диагноза приходится самим вручную рассматривать все результаты медицинских исследований. Это сопряжено с большими затратами времени специалистов, что особенно является проблемой в удалённых населённых пунктах, где есть недостаток медицинских сотрудников. Для постановки точного диагноза врач должен иметь большой опыт, что всё равно не исключает риска человеческой ошибки. Когда же речь заходит о редких заболеваниях всё становится ещё сложнее.

Машинное обучение может стать дополнительным инструментом в руках врачей, чтобы ускорить и облегчить работу над определением заболевания, а наличие больших баз данных в сфере здравоохранения делает использование искусственного интеллекта естественным решением многих проблем.

Цель работы показать широкие возможности и эффективность применения аналитических и генеративных нейронных сетей в постановке диагнозов заболеваний.

Нейронные сети показывают хорошие результаты в задаче классификации, достигая высоких показателей точности, поэтому их разные модели могут найти своё применение в исследовании организма человека, со временем появляется всё больше

работ показывающих их эффективность. Так для исследования организма человека можно найти применение рекуррентных нейронных сетей (RNN), например для диагностики заболеваний сердца по результатам ЭКГ. Если речь заходит об анализе по изображениям, то тут нельзя не упомянуть модели основанные на свёрточных нейронных сетях (CNN), применяемых для анализа результатов МРТ, ЭКГ, видеоэндоскопии и УЗИ.

В последние годы компьютерная модель диагностики и лечения с использованием медицинских изображений, основанная на машинном обучении, быстро развивалась. Глубокое обучение играет большую роль в этой области. Когда разнообразие обучающего набора выше, производительность модели для вспомогательной диагностики и лечения, как правило, выше. Дополнение существующих медицинских изображений может значительно увеличить размер выборки обучающего набора. В определенной степени это уменьшает ограниченный размер выборки медицинских изображений из-за присущих им ограничений, таких как стоимость визуализации, стоимость маркировки и конфиденциальность пациента. Аффинные преобразования, такие как переворачивание и изменение размера способны значительно увеличить объём выборки, но полученные изображения слишком похожи на оригиналы, в свою очередь метод сшивания изображений, в котором «сшиваются» разные регионы исходных примеров, может не встретить медицинских требований. Ответ исследователей на эти проблемы, основанный на машинном обучении, способен имитировать реальные изображения запоминая общие черты выборки. Среди таких моделей генеративная состязательная сеть (GAN) привлекла внимание исследователей благодаря своей замечательной производительности генерации и широко используется в области увеличения медицинских изображений.

Литература

1. *Yizhou Chen, Zihan Wei, Ali Asghar Heidari, Xu-Hua Yang.* Generative adversarial networks in medical image augmentation: a review // *Computers in Biology and Medicine.* 2022. Vol. 144. Art. 105382. URL: https://www.researchgate.net/publication/359047944_Generative_Adversarial_Networks_in_Medical_Image_augmentation_A_review.

2. *Geert Litjens, Thijs Kooi, Babak Ehteshami Bejnordi, Arnaud Arindra Adiyoso Setio, Francesco Ciompi, Mohsen Ghafoorian, Jeroen A.W.M. van der Laak, Bram van Ginneken, Clara I. Sánchez.* A survey on deep learning in medical image analysis // *Medical Image Analysis*. 2017. Vol. 42. P. 60–88. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361841517301135?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=83604a8b6ad29d8a.

П.П. Помогаев, К.И. Будников¹

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

¹SPIN-код: 4580-0963

ИССЛЕДОВАНИЕ МАССИВОВ ДАННЫХ О ЗАБОЛЕВАНИЯХ РАСТЕНИЙ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ

Агрономия – одна из важнейших отраслей в современном сельском хозяйстве. Выращивание агрокультур требуют больших трудовых, временных и финансовых затрат, поэтому мониторингу состояния растений отводится повышенное внимание.

Цель настоящей работы – исследование вопросов, связанных с применением методов машинного обучения для анализа изображений растений при классификации их заболеваний, детектировании очагов поражений по изображению тканей растения – листьев, стеблей и других частей. Классические методы оказались неэффективны при анализе изображений, в то время как нейронные сети, в особенности сверточного типа (CNN) показывают высокие результаты точности, и вектор современных исследований направлен на исследование связей нейросетей для улучшения характеристик моделей, таких как расширяемость на новые культуры и точность предсказаний. Как показывают исследования [1], есть возможность использовать внутренние особенности CNN для построения тепловых карт очагов заболеваний.

В эксперименте [2] исследовалась потенциальная точность предсказаний сверточных нейросетей. Для этого были обучены 6 CNN моделей различных архитектур, которые были обучены 3-мя различными стратегиями на открытом датасете PlantVillage с целевой метрикой *assigasy score*, модели тестировались на подвыборке размером в 20 % от размера датасета. Максимальный результат среди моделей был равен 99,76 %.

Также была исследована возможность обучать CNN на комбинированном датасете, для этого было использовано два различных датасета, из которых отобрали изображения 10 типов суммарно, включающие в себя различные типы культур с различными заболеваниями, в том числе и здоровые. После обработки изображений и обучения модели, полученное значение f1 метрики 96,5 %, accuracy – 97,2 %.

Прирост в точности можно получить используя связку генеративно-состязательной модели и сверточной нейронной сети. В исследовании [3] предложили такой подход: обучение генеративно-состязательной модели на основе датасета, затем использование этой модели для генерации дополнительных изображений в исходный датасет, затем использование получившегося более широкого датасета для обучения CNN модели. Продемонстрирован прирост точности распознавания GACN модели по сравнению с её же CNN частью, исследована возможность балансировки датасетов с помощью генеративно-состязательной модели.

Недостаток CNN моделей – низкую точность при работе с новыми культурами – может сгладить связка рекуррентной модели с CNN. Исследователями [4] была предложена следующая архитектура модели: CNN часть, генерирующая карты активации для кусков изображения с наложениями, которые подаются в RNN часть, которая производит классификацию. Было продемонстрировано более высокое качество распознавания на датасете с новыми культурами, не встречающимися в обучающих данных.

Авторы статей отмечают основную проблему при исследованиях методов машинного обучения в агрономии – небольшие размеры публичных датасетов. Это особенно сильно повлияло на исследование GACN архитектуры, поскольку малое количество изображений мешает качественно обучить генеративно-состязательную часть модели.

Литература

1. *Harte E.* Plant Disease Detection using CNN // School of Computing National College of Ireland Mayor Street, IFSC, Dublin 1 Dublin, Ireland. URL: https://www.researchgate.net/publication/344155605_Plant_Disease_Detection_using_CNN.

2. *Jianlong Z., Fang C.* Human and Machine Learning – Visible, Explainable, Trustworthy and Transparent. 2018. P. 93–119. Human–Computer Interaction Series.
3. *Wang X., Cao W.* GACN: Generative Adversarial Classified Network for Balancing Plant Disease Dataset and Plant Disease Recognition // Sensors. 2023. Vol. 23, iss. 15. Art. 6844. URL: https://www.researchgate.net/publication/372849708_GACN_Generative_Adversarial_Classified_Network_for_Balancing_Plant_Disease_Dataset_and_Plant_Disease_Recognition.
4. *Han Lee S., Gožau H., Bonnet P., Joly A.* Attention-Based Recurrent Neural Network for Plant Disease Classification // Front. Plant Sci. 2020. Vol. 11. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.601250/full>.

А.С. Потапова, К.И. Будников¹

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

¹SPIN-код: 4580-0963

ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОЗГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В последнее время применение нейронных сетей стало распространяться во многих важных отраслях жизни. Они широко используются в медицине, банковской сфере, нефтегазовой индустрии. На текущий момент этот список довольно обширен и продолжает пополняться.

Нейрофизиология изучает особенности организации, функционирования и взаимодействия центральной нервной системы и головного мозга посредством электрофизиологических методик. В настоящее время возросло количество исследований в этой области. Это говорит о наличии интереса к научному пониманию работы человеческого мозга. Появляется новое, более качественное оборудование, дающее более точные данные различного вида. Сейчас существует более 10 методов исследования нейрофизиологии мозга (такие как МРТ, ЭЭГ, МЭГ и другие). Новое оборудование позволяет за несколько дней собирать больше данных, чем всего десять лет назад собиралось за целый год. Этот объем информации нуждается в квалифицированной обработке [1].

Использование искусственных нейронных сетей позволяет исследователю распознавать образы, прогнозировать события, анализировать и сопоставлять большой объем данных, классифицировать и кластеризовать информацию. Цель данной работы - исследование применения машинного обучения и нейронных сетей в области нейрофизиологии.

Основным направлением для применения нейронных сетей в сфере нейрофизиологии является поиск скрытых зависимостей в данных. В ходе работы были проанализированы исследования,

направленные на диагностику риска возникновения депрессии, диагностику обсессивно-компульсивного расстройства и обнаружение эпилептиформных разрядов.

Для установления риска возникновения депрессии [2] исследователи использовали экспериментальный метод, позволяющий оценить способность человека активировать целенаправленные движения или подавлять движения, ставшие неадекватными внешним условиям. Ими были получены данные с помощью фиксации реакции на стимулы со стоп-сигналом. Авторы предположили, что этот метод может служить основой для выявления риска развития аффективных заболеваний, включая депрессию. Для обработки полученных данных ими была создана искусственная нейронная сеть. Они показали, что объединение нейронной сети и разработанного экспериментального метода дает возможность эффективно классифицировать людей на больных депрессией и без депрессии.

Методы статистического анализа сигналов широко используются для определения критериев для диагностики обсессивно-компульсивного расстройства [3]. Проведенное исследование показало хороший результат (значение метрики AUC ROC составляет 0.969) на малых данных (30 человек), что дает повод увеличить набор обучающих и тестовых данных, а также продолжать исследования в этом направлении.

С целью детектирования фокальных эпилептиформных разрядов с помощью методов машинного обучения был создан алгоритм [4]. Его точность пока недостаточна для оценки общего количества фокальных эпилептиформных разрядов в записи ЭЭГ, но уже позволяет установить факт их наличия в этой записи. На данный момент этот алгоритм допускает достаточно много ложноположительных срабатываний (40–80 %). Однако в то же время этот алгоритм, обеспечивает высокую вероятность (99,2–99,4 %) того, что участок, помеченный алгоритмом как нормальный, действительно не содержит эпилептиформных разрядов.

Проведенный анализ показал, что использование нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения существенно помогает в постановке диагнозов нейрофизиологических заболеваний.

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. Юнусов В.А., Демин С.А. Применение методов машинного обучения в поиске статистических паттернов для диагностики обсессивно-компульсивного расстройства // Письма в ЖТФ. 2023. Т. 49, вып. 23. С. 8–12.
4. Карпов О. Э. и др. Анализ сигналов электроэнцефалограмм с применением технологий машинного обучения для детектирования фокальных эпилептиформных разрядов // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. НИ Пирогова. 2020. Т. 15, № 4. С. 69–73.

В.В. Степанюк, К.И. Будников¹

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

¹SPIN-код: 4580-0963

АНАЛИЗ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Солнечная активность – это явление, которое отражает различные процессы, происходящие на Солнце, которые могут оказывать влияние на Землю и ее обитателей, вызывая различные геофизические явления, включая магнитные бури и влияние на радиосвязь. Машинное обучение – это область искусственного интеллекта, которая позволяет выявить закономерности, которые были бы не по силам человеческому мозгу. Оно все больше используется во всевозможных сферах нашей жизни.

Цель работы – анализ методов машинного обучения, применяющиеся в изучении солнечной активности.

В основном исследования сосредоточены вокруг изучения вспышек на солнце (предсказание мощности вспышки) [1], выбросов частиц (корональных выбросов массы) [3], влияния активности на земную погоду и прогнозирование солнечных циклов [4]. Для изучения этих вещей используются данные излучения солнца: рентгеновское излучение, радиационное излучение, солнечный ветер, также активно применяются изображения солнца, полученные с телескопов.

Так для обработки табличных данных о излучении в основном используются методы классического машинного обучения: машина опорных векторов (SVM) [3], случайные леса (RF) [3], градиентный бустинг [3]. Для обработки изображений соответственно используются нейронные сети: сверточные (CNN) [1–3] и рекуррентные (RNN) [4].

Например, в статье [1] исследователи используют изображения магнитограмм солнца для задачи классификации солнеч-

ных всплеск. Авторы используют метрику recall для оценивания качества модели:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

Модель на основе CNN показала значение метрики Recall в районе 80 процентов. В статье [2] CNN используют для распознавания солнечных пятен с помощью изображений, тут уже авторам удастся достичь почти идеальной классификации. Это показывает эффективность архитектуры CNN для анализа солнечной активности - как правило изображений. Еще можно встретить использование архитектуры RNN для похожих вещей [4], такие модели также показывают хорошую эффективность.

Зачастую весьма полезно использовать нейросети в сочетании с методами классического машинного обучения, ведь они весьма хорошо себя показывают при работе с табличными данными. Так в статье [3] используется ансамбль алгоритмов, включающий себя SVM, RF, XGBoost и CNN, для предсказания времени прибытия СМЕ на землю. Нейронная сеть дает заметное улучшение метрики MAE и позволяет использовать изображения.

Также в статье [3] проводится сравнительный анализ с другими аналогичными методами. Модель авторов значительно превосходит остальные и, что особенно интересно, она превосходит и модели, основанные на физических законах, что показывает высокую эффективность методов машинного обучения.

В итоге можно сказать, что методы машинного обучения вполне эффективно могут использоваться для изучения космоса и весьма активно для этого используются.

Литература

1. *Chetraj Pandey, Rafal A. Angryk, Berkay Aydin*. Explaining Full-disk Deep Learning Model for Solar Flare Prediction using Attribution. URL: <https://arxiv.org/abs/2307.15878>.
2. *Channabasava Chola, J V Biabl Benifa*, Detection and classification of sunspots via deep convolutional neural network // Global Transitions Proceedings. 2022. Vol. 3, iss. 1. P. 177–182. DOI: 10.1016/j.gltp.2022.03.006.

3. *Alobaid K.A., Abdullallah Y., Wang J.T.L., Wang H., Jiang H., Xu Y., Yurchyshyn V., Zhang H., Cavus H., Jing J.* Predicting CME arrival time through data integration and ensemble learning // *Front. Astron. Space Sci.* 2022. Vol. 9. Art. 1013345. DOI: 10.3389/fspas.2022.1013345.
4. *Platts, J., Reale, M., Marsh, J. et al.* Solar Flare Prediction with Recurrent Neural Networks // *The Journal of the Astronautical Sciences.* 2022. Vol. 69. P. 1421–1440. DOI: 10.1007/s40295-022-00340-0.

А.Е. Щелоков, К.И. Будников¹

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

¹SPIN-код: 4580-0963

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ СО ВСТРОЕННЫМ ИИ ДЛЯ УЗКОГО КЛИНИЧЕСКОГО СПЕЦИАЛИСТА

При постановке диагноза и лечении врачом необходимо учитывать данные осмотра, индивидуальные особенности пациента и результаты лабораторных и инструментальных методов исследования. Множество рутинных операций, таких как оформление медицинской документации, мониторинг состояния пациентов и контроль за соблюдением назначений, могут осложнять и замедлять работу специалистов. При этом важно обеспечить своевременность и безопасность клинических мероприятий: вовремя обнаружить заболевание и начать правильное лечение. Частичная автоматизация лечебно-диагностического процесса и информационная поддержка специалиста – направления, которые призваны снизить нагрузку на врача и повысить эффективность его работы.

Для решения этих задач предназначена система поддержки принятия врачебных решений (СППВР) – программный комплекс, который обеспечивает врача клиническими данными и сведениями о пациенте, а также сопровождает при постановке диагноза и определении методов лечения.

Существует две основные категории СППВР: на основе знаний и с использованием методов машинного обучения. В первом случае система предоставляет специалисту справочную информацию или легко интерпретируемый набор правил для принятия решения, во втором случае применяются методы машинного обучения, которые значительно ускоряют и упрощают ра-

боту с данными пациентов, но не всегда имеют возможность легкой интерпретации и требуют большой объем данных для подготовки. Кроме того, стоит отметить функционал предварительной обработки данных пациента для упрощения агрегации информации о пациенте из различных источников.

Системы поддержки принятия врачебных решений, оснащенные методами машинного обучения, являются более актуальными, поскольку они могут значительно ускорить и упростить работу с данными пациентов, а также помочь врачам выбрать наиболее эффективные методы лечения. Такие СППВР могут использоваться для автоматизированного скрининга лекарственных назначений на основе заданных правил и учета персональных особенностей пациента, а также для обработки его данных (анализы, мед карты) на основе машинного обучения для агрегации и представления данных в удобной форме для постановки диагноза, прогнозов и оценок состояния здоровья. Кроме того, СППВР с методами машинного обучения могут помочь врачам принимать наиболее эффективные решения в процессе лечения пациента, т. к. они позволяют находить более сложные зависимости, что может улучшить качество медицинской помощи и сократить количество врачебных ошибок.

Цель настоящей работы – разработать и испытать систему поддержки принятия врачебных решений на основе анализа рентгеновских снимков грудной клетки, использующую методы искусственного интеллекта для автоматического распознавания, классификации и интерпретации патологических изменений.

В настоящее время разработаны: структурно-функциональная модель, архитектура и реализуется первая очередь системы, предназначенной улучшить качество и эффективности диагностики различных заболеваний органов грудной клетки за счет более точного и оперативного определения патологий на рентгеновских снимках.

В.А. Филимонов

*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Омский филиал,
г. Омск, Россия
SPIN-код: 2750-2279*

КОЛЛЕКТИВНЫЙ РАЗУМ И СУБЪЕКТНОСТЬ НЕЙРОСЕТЕЙ*

Введение. Развитие систем искусственного интеллекта (ИИ) делает всё более актуальным понимание того, что такое интеллект. Автор, вслед за В.А. Лефевром [1], считает, что интеллект проявляется в поведении, и изучение мозга не является ключевым направлением, обеспечивающим это понимание. Разумное поведение, которое невозможно без интеллекта, демонстрируют простейшие организмы, такие как колонии клеток *Физарум полицефалум* [2], которые мозга не имеют. Интеллект в этих случаях обеспечивается наличием двух факторов: многочисленностью элементов системы и коммуникацией между ними, что позволяет считать такую систему коллективным субъектом.

Соответственно, исследования автора направлены на изучение коллективных субъектов. Помимо коллективов людей, такими субъектами являются также смешанные команды, включающих людей и системы ИИ (роботов). К этой же категории можно отнести нейросети, обученные на материале, который представляет собой собрание результатов коллективной работы (тексты, подборки фотографий и т. п.).

Эксперименты. Были проведены эксперименты по оценке размеров летающих объектов, определению когнитивных профилей политических лидеров и героев мультфильмов, а также игра «Камень-Ножницы-Бумага», в которой учебная группа студентов играла против программы в Excel и обучающегося робота [3–8].

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИМ СО РАН, проект FWNF-2022-0016.

Нейросети позиционируют себя как инструмент, отрицают наличие субъектности и, как показали эксперименты автора, не в состоянии нарисовать свой автопортрет. Изображения, приведённые в [9] получены в результате прямой подсказки: «*Нарисуй себя в виде (предлагается форма)*». Однако при тестировании было обнаружено, что, в зависимости от языка текстов, на которых были обучены нейросети (русский или английский), они демонстрируют элементы субъектности в виде принадлежности к определённой этической системе в смысле В.А. Лефевра [10].

Следует добавить, что люди научились обманывать нейросети чуть позже, чем нейросети научились обманывать людей. Обман, который использовали люди (вариант джейлбрейка), заключался в формулировании задания, которое позволяло обойти формальные ограничения. Обман нейросети заключался в том, что она представлялась человеку тоже человеком, но с ограниченными возможностями, и просила помощи.

Заключение. Необходимым условием интеллектуального поведения является система элементов с соответствующей системой коммуникаций. Формат коммуникаций мозга не является единственно возможным. Эксперименты автора подтверждают известный тезис: при правильном выборе сферы деятельности и правильной организации коллективной работы её результаты превосходят результаты работы индивидуальной. Исключения относятся к сфере гениальности и требуют дополнительных исследований. Нейросети способны проявлять элементы субъектности, несмотря на заложенные в них программы отнесения себя к инструментам. Субъектные характеристики конкретной нейросети зависят от языка массива текстов, на котором она обучалась.

Литература

1. *Лефевр В.А.* Общая схема современной психологии. Место рефлексивных исследований в системе наук // Математические структуры и моделирование. 2018. № 1 (45). С. 108–110.
2. *Элленберг Дж.* Как не ошибаться. Сила математического мышления. М.: МИФ, 2018. 576 с.
3. *Filimonov V.A., Burmistrova N.A., Chernyavskaya V.S., Malakhova V.R.* Collective Development of Cognitive Abilities Using the “4C” Approach // Proceedings – 2021 IEEE Ural-Siberian Conference on Computational

- Technologies in Cognitive Science, Genomics and Biomedicine, CSGB. 2021. P. 60–63.
4. *Филимонов В.А.* Когнитивные возможности и модели коллективных субъектов // Знания – Онтологии – Теории (ЗОНТ-2023): материалы IX Междунар. Конференции. Новосибирск: Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, 2023. С. 266–271.
 5. *Филимонов В.А.* Когнитивная инфраструктура коллективной деятельности // Когнитивные штудии: когнитивная наука и когнитивная психология: сб. матер. Междун. науч.-практ. конф., г. Минск, 25–26 мая 2023 г. Минск: Белорус. гос. пед. ун-т им. М. Танка, 2023. С. 282–289.
 6. *Филимонов В.А., Бурмистрова Н.А.* Исследование студенческой группы как коллективного субъекта // Бизнес. Образование. Право. 2023. № 4. С. 295–300.
 7. *Burmistrova N., Filimonov V.* Experimental game 'Rock-Paper-Scissors' for teams of people and artificial intelligence systems // Proceedings – 2022 Ural-Siberian Conference on Computational Technologies in Cognitive Science, Genomics and Biomedicine. 2022. P. 40–43. DOI: 10.1109/CSGB56354.2022.9865445.
 8. *Филимонов В. А.* Парадокс субъектности нейросетей // Робототехника и искусственный интеллект: материалы XV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием (г. Железногорск, 2 декабря 2023 г.). Красноярск: ЛИТЕРА-принт, 2023. С. 247–250.
 9. Автобиография нейросети. М.: АСТ, 2023. 224 с.
 10. *Левевр В.А.* Алгебра совести. М.: Когито-центр, 2003. 426 с.

Т.В. Леванова^{1,2}, А.В. Гетте²

*¹Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
г. Омск, Россия*

SPIN-код: 5465-0869

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

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ В ГЛОБАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЕТИ

Глобальные спутниковые сети связи состоят из наземных станций и спутников, находящихся на низкой околоземной орбите. Пакеты данных передаются с наземных станций на спутники, а затем потребителям. В предыдущих публикациях теоретически и экспериментально изучались различные подходы к решению проблемы маршрутизации пакетов, все станции и передающие устройства считались уже выбранными [1].

Данная работа представляет собой исследование применения генетического алгоритма для оптимизации размещения наземных станций в глобальной спутниковой сети [1]. Для определения размещения и конфигурации наземных станций предложен подход, основанный на генетическом алгоритме. В нём учитываются такие факторы как пропускная способность, количество потерянных пакетов и стоимость оборудования [2].

Для проверки эффективности предложенного подхода проведены численные эксперименты, результаты которых показывают, что генетический локальный поиск позволяет получить размещение наземных станций, удовлетворяющее заданным параметрам, и значительно снизить количество потерянных пакетов данных. Это исследование имеет практическую значимость для спутниковых операторов и системных инженеров, предоставляющих услуги связи через глобальные спутниковые сети связи [3].

Литература

1. *Борисовский П.А., Еремеев А.В.* Генетический алгоритм для задачи о вершинном покрытии графа // Математика и информатика: наука и образование: межвузовский сборник научных трудов. Вып. 7. Омск: Изд-во ОмГПУ, 2008. С. 49–54.
2. *Eremeev A., Gette A., Hrushev S., Levanova T.* Location and Design of Ground Stations for Software Defined Satellite Networks // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). Omsk, 2022. P. 1–4. DOI: 10.1109/Dynamics56256.2022.10014916.
3. *Tang Z., Zhao B., Yu W., Feng Z., Wu C.* Software defined satellite networks: Benefits and challenges // 2014 IEEE Computers, Communications and IT Applications Conference. 2014. P. 127–132.

Ю.В. Захарова¹, М.Ю. Сахно²

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

¹SPIN-код: 2346-8377; ²SPIN-код: 7814-2183

АДАПТИВНЫЙ ВЫЗОВ ПРОЦЕДУР И НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ В ЭВОЛЮЦИОННЫХ АЛГОРИТМАХ ДЛЯ ЗАДАЧ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЙ*

Эволюционный алгоритм основан на идее имитации процесса эволюции особей в живой природе [1; 3]. Основными операторами выступают кроссинговер (скрещивание), мутация и селекция (отбор). Для задач составления расписаний хорошо зарекомендовали себя такие операторы скрещивания, как порядковый кроссинговер, циклический кроссинговер, оператор скрещивания с частичным отображением и кроссинговер на основе свойства смежности, а в качестве мутации, как правило, используются операторы сдвига и обмена.

Важной задачей при разработке эволюционных алгоритмов является настройка параметров и управление вызовом операторов [2; 4]. Адаптация и координация в современных эволюционных алгоритмах часто осуществляются с помощью адаптивных правил, основанных на разнообразии популяции по приспособленности или расстоянию между особями, адаптивных гиперэвристических методах обучения с подкреплением и других. Адаптивное управление вызовом операторов использует обратную связь из истории поиска для определения направления дальнейшего поиска. Параметры могут обновляться при возникновении некоторых событий (например, достижение пороговых значений разнообразия или размера популяции) или в соответствии с качеством полученных решений, текущим состоянием популяции и

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

предысторией (например, Q-обучение и стратегии, основанные на продолжительности жизни особей).

В настоящей работе предлагается адаптивный эволюционный алгоритм с оптимизированными операторами, где параметры настраиваются с помощью пакета IRACE. Алгоритм экспериментально исследуется на задачах составления расписаний с ресурсными ограничениями.

Литература

1. *Blum C., Eremeev A., Zakharova Y.* Hybridizations of evolutionary algorithms with large neighborhood search // *Computer Science Review*. 2022. Т. 46. С. 100512.
2. *Eiben A.E., Michalewicz Z., Schoenauer M., Smith J.E.* Parameter control in evolutionary algorithms // *Parameter Setting in Evolutionary Algorithms*. 2007. С. 19–46.
3. *Neri F., Cotta C.* Memetic algorithms and memetic computing optimization: a literature review // *Swarm and Evolutionary Computation*. 2012. Т. 2. С. 1–14.
4. *Neri F., Toivanen J., Cascella G., Ong Y.* An adaptive multimeme algorithm for designing hiv multidrug therapies // *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*. 2007. Т. 4. № 2. С. 264–278.

А.А. Березин¹, С.А. Агалаков²

¹*Омский государственный технический университет,
г. Омск, Россия*

²*Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
г. Омск, Россия
SPIN-код: 8316-5885*

КЛАССИФИКАЦИЯ ФЕНОТИПОВ ЗАБОЛЕВАНИЯ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В настоящее время машинное обучение и анализ данных становятся все более актуальными в различных областях, таких как наука, бизнес, здравоохранение, банковская сфера и др. Модели машинного обучения могут решать много проблем, но в эпоху пандемии и увеличивающихся видов заболеваний, как никогда актуальны задачи диагностики в медицине.

Работа посвящена задаче диагностики фенотипов заболеваний желудочно-кишечного тракта с помощью моделей машинного обучения. Главной целью данной работы является поиск модели, решающей задачу классификации пациентов медицинского учреждения с наибольшей точностью.

Задача состоит в следующем. Есть результаты анкетирования пациентов и их медицинские показатели, представленные в таблице (112 признаков, 281 пациент). Требуется отнести каждого нового пациента к одному из шести фенотипов заболевания ЖКТ: здоровые лица, ПИ-СРК, с ожирением, коморбидность, эссенциальный и смешанный фенотип. Все исходные признаки разделены на пять групп вопросов/показателей: пищевые привычки, уровень стресса, симптомы болезни, показатели качества жизни, лабораторные маркеры.

Данная задача является примером задачи машинного обучения «с учителем», то есть на вход модели данные поступают с правильными ответами, что необходимо для проверки качества

обучения модели классификации. В качестве основной метрики использовалась точность.

В ходе работы сначала были рассмотрены такие простые модели как логистическая регрессия и кластерный анализ [1]. Ввиду неэффективности этих методов для данного набора был выполнен поиск более сложных моделей анализа данных: деревья решений, ансамбли деревьев, искусственные нейронные сети [2].

В результате работы была найдена модель CatBoost [3], которая является продвинутой реализацией градиентного бустинга, разработанного исследователями и инженерами Яндекса. CatBoost позволяет использовать категориальные признаки без необходимости их предварительно обрабатывать. Данная модель хорошо подходит для небольшого набора данных, что важно в этой задаче, учитывая небольшое количество наблюдений (281) относительно большого количества признаков (112). Также является преимуществом возможность обеспечивать повышенную точность за счет уменьшения переобучения и выполнения обучение на нескольких GPU.

Итого, CatBoost диагностирует фенотипы с точностью 92,85 % на тренировочной выборке и на тестовой выборке – 79,31 %. Кроме того, в работе оценивается применимость методов машинного обучения в клинической практике и определяются направления будущих исследований для более точной диагностики. Также в таблице представлены результаты работы других моделей.

Результаты классификации фенотипов заболевания ЖКТ, %

<i>Модель</i>	<i>Train</i>	<i>Test</i>
Логистическая регрессия	75	68,97
Кластеризация k-средними	–	23,49
MLPClassifier	81,74	79,31
Нейросеть Keras	73,00	68,97
Решающее дерево	82,53	62,06
Случайный лес	77,78	72,41
XGBoost	67,86	62,07
CatBoost	92,85	79,31

Код программ был написан в Google Colab на языке Python. Для создания моделей использовались компоненты библиотеки scikit-learn и Keras. Медицинские данные для исследования были получены из Омского государственного медицинского университета.

Литература

1. *Агалаков С.А.* Статистические методы анализа данных: учебное пособие. Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2017. 92 с.
2. *Николенко С., Кадулин А., Архангельская Е.* Глубокое обучение. СПб.: Питер, 2018. 480 с.: ил. (Серия «Библиотека программиста»)
3. Официальная документация CatBoost. URL: <https://catboost.ai/en/docs/> (дата обращения: 10.02.2024).

O. Gurieva

Omsk State Technical University, Omsk, Russia

**APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
FOR OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION
WITH INTEGRATION
OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

The primary objectives of this paper include achieving a comprehensive understanding of artificial intelligence (AI) in the field of energy management, with a particular emphasis on describing various applications stemming from AI research in this context. The paper provides explanations of AI applications designed for energy consumption management. Serving as a conceptual foundation, this paper elucidates various applications and methods inherent in AI research related to energy management systems. The first part of the paper involves a detailed examination: the landscape of popular intelligent algorithms, which play a key role in the emergence of AI entities, is systematically analyzed. Conversely, the second section focuses on practical aspects of AI integration into energy consumption management systems. Employing this structured approach, this paper attempts to provide a comprehensive overview of artificial intelligence in energy consumption management, covering both theoretical intricacies and practical implementations.

An analysis of outstanding intelligent algorithms and models described in existing literature was conducted. A dataset, carefully selected through extraction using VOSviewer, covering a corpus of 150 scientific articles distributed over the period 2017–2022, was employed.

From the existing literature, fuzzy logic (FL) serves as the primary algorithm for managing energy resources and loads. In a broader context, fuzzy logic system operations encompass decision-making regarding when to feed energy resources into loads or the grid, when to charge or discharge energy storage, and when to activate or deactivate loads [1]. To make informed decisions, the FL model relies on key information

such as electricity demand (kW), electricity price (\$/kWh), state of charge (SoC, %), and output power from self-owned energy resources (kW). Significantly, FL can effectively utilize both real-time measured data and forecasted data. Considering that hourly data becomes available only after an hour has passed, FL can initiate actions based on forecasts in the interim period. As real-time data becomes available, the FL system can dynamically update its actions and policies. Even with updates occurring every 15 minutes, calculated estimates serve as the basis for decision-making processes within the company.

Several noteworthy observations arise. Similar to fuzzy logic (FL), reinforcement learning (RL) demonstrates universality both in template contexts and in various applications. Algorithms based on reinforcement learning (RL), such as Batch RL or Deep Q-Network (DQN), demonstrate adaptability by incorporating historical data or integrating with neural networks (NN). In terms of applications, RL proves applicable on various scales, from coordinating actions of multiple agents at the macro level to optimizing energy costs for individual household appliances at the micro level [2]. Moreover, RL is effective at the intermediate level, efficiently managing energy at a single facility. In conclusion, the popularity of reinforcement learning can be explained by its universality of application and algorithmic adaptability. Additionally, it is important to emphasize that RL-based algorithms, including Q-learning, are characterized as "model-independent," indicating their ability to operate without prior information about the environment. This inherent feature allows applying the same model across different systems in different locations.

Upon careful examination of both prevalent intelligent algorithms and learning approaches, a couple of common trends are identified. Foremost among these trends is the emphasis on the universality of current AI research in energy management. It is crucial for algorithms to seamlessly integrate or interconnect with others. Acknowledging that no single approach achieves perfection, combining various algorithms contributes to the development of a more comprehensive and reliable system. Figure 1 describes the process and potential architecture of artificial intelligence (AI) in an intelligent energy management system (SEMS) [3]. While the utility of algorithms and conceptual frameworks is evident, it is equally important to understand the practical implementation of an artificial intelligence system.

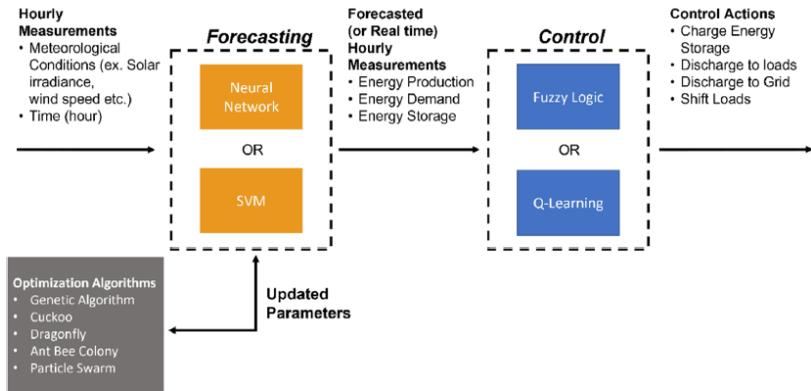


Figure 1. High-level diagram summarizing the literature and intelligent algorithms in artificial intelligence for SEMS.

References

1. Eseye A.T., Zhang J., Zheng D. Short-term photovoltaic solar power forecasting using a hybrid wavelet-PSO-SVM model based on SCADA and meteorological information. // *Renew Energy*. 2018. Vol. 67. P. 118–357.
2. Zhang A., Zhang P., Feng Y. Short-term load forecasting for microgrids based on DA-SVM. *COMPEL // Int J Comput Math Electrical Electronic Eng*. 2019. Vol. 38. P. 68–80.
3. Sameti M., Jokar M.A., Astaraei F.R. Prediction of solar stirling power generation in smart grid by GA-ANN model // *Int J Comput Appl Technol*. 2017. Vol. 55. P. 147–57. DOI: 10.1504/IJCAT.2017.082860.

А.Л. Голованов

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

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПО КЛАВИАТУРНОМУ ПОЧЕРКУ НА ОСНОВЕ СВОБОДНЫХ ТЕКСТОВ

На множестве сайтов и в большинстве электронных систем аутентификация зарегистрированных пользователей происходит с помощью логина и пароля. Для дополнительной безопасности и подтверждения, что логин и пароль не были выкрадены, внедряют двухфакторную аутентификацию (2FA). В качестве дополнительного фактора часто используют СМС-коды или короткие одноразовые пароли из специального приложения.

После входа, дополнительных проверок на то, что за аккаунтом до сих пор работает тот же пользователь, не производится. Такую проблему может решить аутентификация пользователя по тому, как он печатает на клавиатуре во время своей работы.

Одним из вариантов реализации такого подхода может служить система, которая каждому новому пользователю задаёт пустой профиль клавиатурного почерка. По мере работы на сайте, система помимо вводимой информации запоминает характеристики клавиатурного почерка пользователя. Этими характеристиками могут быть время удержания кнопки во время печати, промежуток времени между высвобождением одной кнопки и нажатием другой, определение предпочтений пользователя в наборе текста (комбинация для переключения языка, левый или правый Shift, левый или правый Ctrl, использование Num Pad и выбор между Backspace и Delete для редактирования текста).

Предполагается, что система будет уметь собирать такой массив информации при наборе текста и сохранять его на своих серверах.

Затем, используя модели машинного обучения, собранные данные автоматически изучаются, фильтруются и формируют ис-

ходную поведенческую модель написания текста для пользователя.

Для построения такой модели могут использоваться следующие алгоритмы:

- Глубокие нейронные сети, такие как рекуррентные нейронные сети или сети долгой краткосрочной памяти, так как они используются для работы с данными, зависящими от порядка, и временными рядами.

- Метод опорных векторов, так как этот метод часто используется для задач классификации, к которым можно отнести идентификацию пользователей по клавиатурному почерку.

- Деревья решений могут быть использованы для моделирования процесса принятия решений, основанного на извлекаемых из датасета характеристиках.

- Скрытые марковские модели также подходят для моделирования данных, зависящих от времени (временных рядов) и могут быть использованы в этой задаче.

- Ансамблевые методы, такие как AdaBoost или градиентный бустинг, могут использоваться для объединения прогнозирование нескольких слабых классификаторов, повышая общую точность.

Далее, по мере ввода нового текста, поведенческий профиль обновляется, вводя новые данные в модель и корректируя её внутренние параметры. Для этого могут быть использованы средства непрерывного машинного обучения [1].

В дальнейшем планируется продолжить работу над реализацией нейросетевых алгоритмов для данной задачи и проработать возможность применения такой системы для задачи прокторинга.

Литература

1. *Aljundi R.* Continual Learning in Neural Networks. 2019. DOI: 10.48550/arXiv.1910.02718.

УДК 519.17

А.В. Дульнева, Д.Н. Дюнова¹

*Академия гражданской защиты МЧС России,
г. Химки, Россия*

¹SPIN-код: 6085-4980

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ И РИСКА СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Одним из факторов развития нефтяной индустрии является формирование потребности в эффективном хранении больших объемов добываемой нефти и ряда синтезированных на ее основе продуктов. Современные резервуары – основные типы хранилищ, представляющие собой сложные инженерные системы для реализации циклических процессов обращения углеводородных сред в составе резервуарных парков. Их физико-химические свойства определяют способность к испарению, вызывая образование взрывоопасных смесей над рабочей поверхностью аппаратов [1].

Актуальная проблема данных объектов – рост вызванных пожарами и взрывами тяжелых аварий и катастроф [2]. Эффективным средством борьбы с возгораниями является система сплошного пожаротушения, состав которой характеризуется основным (последовательным) соединением элементов. При построении математической модели в смысле надежности полагалось, что объект является нерезервированной системой с восстановлением; время безотказной работы и время восстановления подчиняются экспоненциальному закону распределения.

На основе структурной схемы системы получен ориентированный граф состояний, вершины которого отвечают состояниям

системы, ветви – возможным переходам из одного состояния в другое. С учетом графа системы пожаротушения составлена система дифференциальных уравнений типа массового обслуживания, позволяющая с достаточной для практики точностью рассчитывать количественные характеристики надежности объекта и прогнозировать величину его общего риска.

Литература

1. Дюнова Д.Н., Лымарев В.Н. Об обеспечении пожарной безопасности оборудования резервуарных парков // Техносферная безопасность: материалы X Международной научно-технической конференции, Омск, 28 апреля 2023 года. Омск: ОмГТУ, 2023. С. 179 –181.
2. Ваганов А.М. Анализ и оценка пожарной опасности объекта хранения нефтепродуктов // Экономика строительства. 2023. № 2. С. 52–55.

М.Р. Алискеров

*Дагестанский государственный технический университет,
г. Махачкала, Россия
SPIN-код: 5468-4006*

О НЕКОТОРЫХ ГУМАНИТАРНЫХ АСПЕКТАХ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

За последние годы отмечается стремительное развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) ориентированных на решение различных задач, при этом указанное явилось также основанием возникновения новых инструментов ведения когнитивной войны, для оказания деструктивного информационно-психологического воздействия на общество, несущего угрозу демократической стабильности. В этих условиях обеспечение информационной безопасности стало важным аспектом в системе национальной безопасности государства.

В эпоху стремительного технологического прогресса облик ведения войны претерпевает значительные изменения. Интеграция ИИ в военные системы революционизирует способы ведения войны. Когнитивная война представляет собой смену парадигмы ведения военных операций. Это стратегическое использование машинного обучения для влияния на когнитивные процессы противников. Одним из инструментов такого воздействия является технология дипфейк.

Данная технология существует уже несколько десятков лет. Возможность поместить изображение на существующее видео или цифровое изображение не является новостью, но если данная технология раньше была доступна узкому кругу компетентных лиц, то после анонса в 2014 году, она стала намного доступнее и не требует особых навыков.

На сегодняшний день определить подлинность новостей или просмотренного видео процесс трудоемкий. Так, как существуют инструменты не только подделки изображения человека, но и предоставляют возможность синтеза речи (голоса). Синтез

речи также подпадает под термин «deepfakes» и представляет собой создание человеческой речи с использованием ИИ.

Технология дипфейк создает ряд серьезных угроз, в ближайшем будущем она станет затрагивать многие сферы общественно-политической жизни, в особенности правовой, распространяя и усиливая широкий спектр угроз.

Проблема распространения фейковой информации в современном социуме является крайне значимой для мирового сообщества в целом. Это связано как с развитием интернет-технологий, так и с увеличением скорости распространения информации. Наличие ложной информации в эпоху быстро распространяющихся новостей влияет на политику, экономику и безопасность целых государств.

В настоящее время тема формирования общественного мнения выходит на первый план в социальной повестке. Это связано со спецификой нашего постиндустриального общества, где информация стала не только товаром, но и инструментом тонкой настройки общественного сознания. Средства массовой коммуникации с самого своего появления выполняли манипулятивную функцию. Однако сейчас уровень возможностей манипулирования существенно возрос в связи с автоматизацией различных процессов.

Информационно-психологическое воздействие (ИПВ), как правило, осуществляется удаленно. Комментируя новостные каналы, манипулируя подачей и эмоциональным восприятием информации, можно легко обеспечить виртуальное присутствие в заданном месте в реальном времени.

Масштабность возможных последствий. Использование глобальной сети Интернет для негативного ИПВ может привести к нарушению нормальной работы органов государственного управления, спровоцировать массовые протесты, акции гражданского неповиновения в отдельных субъектах или в целом по стране. Так, современные средства коммуникации и социальные сети могут быть использованы для манипулирования общественным мнением. Для достижения этих целей порой достаточно откровенного вымысла, главное, чтобы он затрагивал людей на эмоциональном уровне.

Технологии информационного воздействия реализуются не только на уровне сознания, но и на подсознательном уровне, позволяя дезориентировать отдельного человека или целые социальные группы в происходящих событиях, незаметно управлять их поведением. В качестве примера можно привести антисемитские беспорядки, произошедшие 29 октября 2023 года в аэропорту Махачкалы, посредством распространяемых через социальные сети слухов о размещении в Республике Дагестан беженцев из Государства Израиль, эвакуировавшихся после начала активных боевых действий на территории Палестины. В результате несанкционированной акции, в которой приняли участие более тысячи молодых ребят, работа единственной аэрогавани республики была парализована на несколько суток.

Вывод. В результате проведенного исследования автор пришел к выводу, что когнитивные войны стали реальностью современного мира, в сложившихся условиях реалиях для реализации государственной доктрины информационной безопасности требуются эффективные инструменты противоборства вышеуказанным угрозам.

Литература

1. *Алискеров М.Р.* Угрозы и риски применения технологии «Deepfake» в противоправных целях // Информационное право. 2022. № 2. С. 38–42. DOI: 10.55291/1999-480X-2022-2-38-42. – EDN DCSJCI.
2. *Столяренко А.М., Сердюк Н.В., Вахнина В.В. и др.* Психологические аспекты деструктивного информационно-психологического воздействия. // Психология и право. 2019. Т. 9, № 4. С. 75–89. DOI: 10.17759/psylaw.2019090406.
3. Россия в мире: проблемы и перспективы развития международного сотрудничества в гуманитарной и социальной сфере: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. М.; Пенза, 2020.

О.Ю. Данилова¹, С.А. Телкова²

*Воронежский институт МВД России,
г. Воронеж, Россия*

¹SPIN-код: 7246-2458; ²SPIN-код: 6775-5589

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИКАЦИЙ СЕТИ ФЕЙСТЕЛЯ В СОВРЕМЕННЫХ КРИПТОАЛГОРИТМАХ

В настоящий момент информатизация все больше проникает в жизнь обычного человека, использование банковских карт и электронной почты стало неотъемлемой частью повседневного существования. Чтобы защитить свои сбережения и не попасться в руки мошенников, каждый человек должен иметь минимальные знания в сфере информационной безопасности. Поэтому криптографические методы защиты информации [1; 2], позволяющие защитить конфиденциальность информации, приобретают в современном мире огромное значение и затрагивают буквально каждого.

К настоящему моменту для защиты информации от несанкционированного доступа используются разнообразные криптопротоколы, построенные как на основе симметричных, так и асимметричных криптографических алгоритмов [3; 4]. Основное правило построения всех криптоалгоритмов заключается в том, что отсутствие ключей шифрования не позволяет расшифровать зашифрованный текст, даже зная способ шифрования [5; 6].

Частое применение сети Фейстеля в современных криптопротоколах обусловлено ее легкой практической реализацией и достаточно высокой стойкостью к различного рода криптографическим атакам. В классической модели сети Фейстеля шифрование текста производится в двух ветвях, где входящая информация разделяется на части. После этого к каждой части применяют математические операции [7; 8], которые преобразовывают исходный открытый текст в зашифрованный. Математические преобразования для каждой части текста выполняются одинаковые, что позволяет легко распространить процесс шифрования на все со-

общение. Для шифрования выбираются математические преобразования, легко реализуемые на практике. В качестве такого рода математической операции часто применяется операция побитового сложения XOR. Чтобы расшифровать сообщение, необходимо выполнить действия подобные действиям при шифровании, необходимо лишь взять ключи шифрования в обратном порядке.

Использование модифицированных моделей сети Фейстеля позволяет повысить криптостойкость протоколов шифрования за счет применения в модификациях сети большего количества ветвей по сравнению с классическим вариантом. Также в практических реализациях применяются несбалансированные модели, в которых части имеют неодинаковые длины. На рис. 1 представлены примеры моделей модифицированной сети Фейстеля, в которых построения ведутся на основе 4 ветвей.

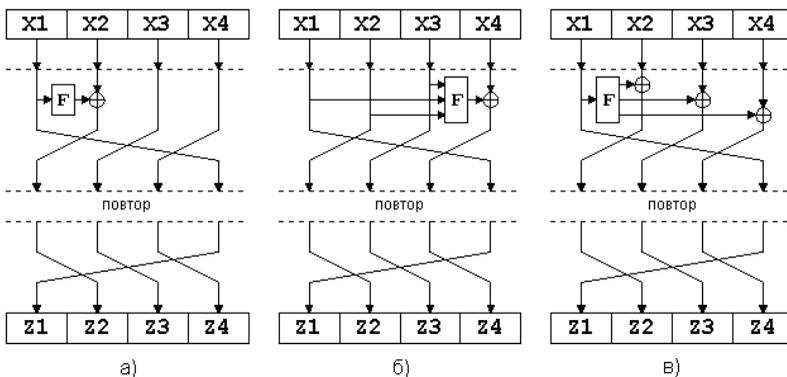


Рис. 1. Модификации сети Фейстеля

Модификации сети Фейстеля с 4 ветвями используются в криптографических алгоритмах шифрования IDEA, MacGuffin, MISTY1, RC2, Rc6, Sinople, Skipjack, Twofish, X-Tea3. Криптопротокол CLEFIA строится на основе 16 ветвей.

Литература

1. Бабаи 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.

А.В. Мелешко¹, В.А. Десницкий²

*Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН,
г. Санкт-Петербург, Россия*

¹SPIN-код: 9600-6970; ²SPIN-код: 6526-5812

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АТАК В САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ*

Работа посвящена вопросам обнаружения атак в самоорганизующихся децентрализованных беспроводных сенсорных сетях (БСС). Проводится анализ применимости распределенных реестров для повышения безопасности БСС, обнаружения и предотвращения некоторых видов атак, направленных на компрометацию данных и узлов в сети. Такие сети применяются в различных областях, таких как умные города и производства, системы мониторинга окружающей среды и др. При этом свойства самоорганизации и децентрализации БСС дают ряд преимуществ при эксплуатации такой сети, но предоставляют злоумышленникам дополнительные возможности для реализации атак. Поэтому вопросы обеспечения безопасности самоорганизующихся децентрализованных БСС и эффективного обнаружения атак на них приобретают все большее значение.

Одним из способов обнаружения атак и атакующих узлов в БСС является исследование поведенческих характеристик каждого узла сети и внедрение коэффициентов доверия и репутации [1]. С развитием технологии блокчейн реализация доверительного управления в сети с ее использованием получает все большее распространение ввиду значительных преимуществ и возможностей данной технологии. В [1] предлагается механизм

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-21-00486, <https://rscf.ru/project/24-21-00486/>.

оценки уровня доверия к узлам для безопасной локализации узлов в БСС. Неверная локализация местоположения узлов может приводить к нарушению маршрутизации сети и целостности передаваемых данных. Местоположение новых узлов сети определяется, исходя из их удаленности от уже имеющихся. Для существующих узлов вводятся оценки доверия. Если оценка ниже заданной, то данные о местоположении от них не учитываются. Комплексная оценка доверия учитывает данные о конкретном узле, такие как количество успешных и неудачных взаимодействий между узлами, частота взаимодействия с другими узлами, количество соседних узлов. Далее оценка доверия передается на базовую станцию БСС, где генерируется блокчейн со значениями доверия отдельных узлов. В блокчейн добавляются данные оценок с высоким уровнем доверия. Экспериментально показано, что данный механизм превосходит существующие по точности обнаружения атак, частоты ложных срабатываний, ложноотрицательных результатов и энергопотребления.

В [2] предлагается механизм поощрения узлов БСС для стимулирования хранения ими данных – аналог доверительных коэффициентов и направлен на стимулирование узлов хранить важные для сети данные в своем хранилище. Узлы, сохраняющие больше данных, вознаграждаются цифровыми деньгами, и чем больше значимых данных хранится на узле, тем больше вознаграждения он получает. Всего используются два блокчейна, один – для хранения данных каждого узла, а другой – для управления доступом к этим данным.

Для обнаружения вредоносных узлов в БСС в [3] предлагается модель доверия на основе блокчейна. Модель позволяет обнаруживать вредоносные узлы с помощью смарт-контракта и четырехстороннего метода измерений. Для обнаружения такого узла используются параметры состояния узла, задержки обработки данных, скорости пересылки и времени ответа узлов. При этом вычислить местоположение нового узла возможно, анализируя его удаленность от четырех стационарных узлов. В рамках блокчейна все полученные данные записываются в смарт-контракт. Результаты экспериментов подтверждают, что данная модель может эффективно детектировать вредоносные узлы в БСС.

Таким образом, отметим, что технология блокчейн активно применяется для обеспечения безопасности БСС, в том числе как дополнение к механизмам доверительного управления и репутации. Однако, в проанализированных работах рассматриваются в основном централизованные БСС, базирующиеся на в явном виде фиксированных базовых станциях. В случае децентрализованной БСС основные функции базовой станции могут распределяться на несколько узлов, тем самым снижая уровень централизации сети. Поэтому для самоорганизующихся децентрализованных БСС применение технологии блокчейн представляется крайне перспективным, так как данная технология включает распределенный характер операций, и она может способствовать реализации децентрализованного и защищенного функционирования сети. Кроме того, хранение данных сети в блокчейне предотвращает нелегитимное нарушение их целостности, так как злоумышленнику потребовалось бы модифицировать всю цепочку блоков в блокчейне, что практически невыполнимо.

Литература

1. *Kim T.H. et al.* A Novel Trust Evaluation Process for Secure Localization Using a Decentralized Blockchain in Wireless Sensor Networks // *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 184133–184144.
2. *Ren Y., Liu Y., Ji S., Sangaiah A.K., Wang J.* Incentive Mechanism of Data Storage Based on Blockchain for Wireless Sensor Networks // *Mobile Information Systems*. 2018. Vol. 2018.
3. *She W., Liu Q., Tian Z., Chen J.S., Wang B., Liu W.* Blockchain Trust Model for Malicious Node Detection in Wireless Sensor Networks // *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 38947–38956.

М.Д. Кузнецов

*Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН,
г. Санкт-Петербург, Россия*

МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АННОТИРОВАНИЯ ПОЛИТИК БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АСПЕКТОВ ОБРАБОТКИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Политики безопасности являются единственными документами, определяющими перечень персональных данных и способы их обработки цифровыми сервисами. Однако, эти документы трудны в понимании для пользователей, что часто приводит к ситуации, когда пользователи соглашаются с условиями обработки персональных данных, не имея четкого представления о них.

В работах [1; 2] проводится обзор существующих и разрабатываются новые модели для формализации политик безопасности, в частности освещаются аспекты онтологического моделирования политик безопасности, что является лишь частью решения задачи формализации таких политик. Вторая часть решения задачи полагается на методы автоматизированного аннотирования политик безопасности для обработки больших наборов документов. При этом автоматизированное аннотирование позволяет получить обработанные документы с указанием положений аспектов обработки персональных данных и их атрибутов. Обработанные политики безопасности могут быть надежно конвертированы в машиночитаемые онтологические представления для визуализации и предоставления пользователю информации о том, как и какие персональные данные обрабатываются цифровым сервисом.

Для решения задачи автоматизированного аннотирования могут быть использованы различные методы текстового анализа. В работе [3] авторы провели семантический анализ политик безопасности, что выявило возможность применения методов кластеризации для аннотирования текстов, однако они применимы

для таких единиц данных как параграфы и предложения, в то время как положение многих аспектов, в частности перечня данных и сторон соглашения, остается неидентифицируемым. Задача автоматизированного аннотирования решалась многими исследователями в задачах разных предметных областей в работах [4; 5] и некоторых других. В них авторы используют LSTM (анг. Long Short-Term Memory) модели, при этом модель делает вывод на основе только тех данных, которые позиционно располагаются до точки инференса, что не позволяет модели делать вывод на основе полного контекста. Такая проблема может быть решена моделями другой архитектуры. Модифицированная модель BLSTM (анг. Bidirectional Long Short-Term Memory), основанная на LSTM, принимает на вход два контекста, как контекст, позиционно располагающийся до точки инференса, так и после нее. Это позволяет модели видеть весь контекст и давать более точные результаты при аннотировании текстов.

Существует также и более современный подход на основе Transformer моделей [6]. Эти модели генеративного типа показали более высокую эффективность в задачах анализа последовательностей данных, чем модели LSTM и BLSTM, в том числе в задачах машинного перевода и системах вопрос-ответ. В задаче автоматизированного аннотирования подобные модели также могут быть применены. Сначала модель обучается на большом корпусе текстовых данных для освоения языка, обучение на этом этапе построено на генерации нового или пропущенного слова в последовательности; затем модели подается другой набор данных, в котором каждой последовательности слов соответствует последовательность с фрагментами текста, выделенными с помощью специальных меток, обозначающих начало и конец аннотируемой области.

В данной работе был проведен обзор методов автоматизированного аннотирования текстовых данных на основе моделей глубокого обучения. Были выявлены особенности подходов и способы обучения моделей. Такие методы аннотирования могут быть применены с политиками безопасности для формирования онтологических представлений политик безопасности.

Литература

1. *Кузнецов М.Д.* «Современные подходы к формализации и моделированию сценариев использования персональных данных» / под ред. А.В. Шестакова; сост. В.С. Елагин, Е.А. Аникевич // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: сб. науч. ст. XI Международной науч.-техн. и науч.-метод. конф. : в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 1. С. 632–637.
2. *Kuznetsov M., Novikova E., Kotenko I.* An approach to formal description of the user notification scenarios in privacy policies // 30th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing (PDP), Special session 2, Valladolid, Spain, 2022, pp. 275-282 DOI: 10.1109/PDP55904.2022.00049.
3. *Kuznetsov M., Novikova E., Kotenko I., Doynikova E.* Privacy Policies of IoT Devices: Collection and Analysis // Sensors. 2022. Vol. 22, iss. 5, Art. 1838. DOI: /10.3390/s22051838.
4. *Palma, Marco Edoardo et al.* On-the-fly syntax highlighting using neural networks // Association for Computing Machinery. 2022, New York, NY, USA. DOI: 10.1145/3540250.3549109.
5. *Ozan Ozyegen et al.* Word-level text highlighting of medical texts for telehealth services // Artificial Intelligence in Medicine. 2022, 127, 102284. DOI: 10.1016/j.artmed.2022.102284.
6. *Ashish Vaswani et al.* Attention Is All You Need // arXiv.org 2017.

С.А. Голубев

*Санкт-Петербургский Федеральный Исследовательский Центр РАН,
г. Санкт-Петербург, Россия*

ВЫЯВЛЕНИЕ АНОМАЛИЙ В СЕТЕВОМ ТРАФИКЕ НА ОСНОВЕ СВЁРТОЧНЫХ СЕТЕЙ

В последнее время для обнаружения вторжений и аномалий в информационных системах были предложены различные методы глубокого обучения. Свёрточные нейронные сети часто используются для выявления скрытых пространственных отношений между признаками, однако их применение требует определенных методов предварительной обработки данных, которые преобразуют табличные непространственные данные в матрицы.

Идея преобразования необработанных сетевых потоков в изображения (двумерные матрицы) обусловлена эффективностью их применения для анализа вредоносного кода [1]. Наиболее распространенным способом формирования изображения является по байтное преобразование бинарного кода в изображение в градациях серого цвета, формируемая картинка получила название диаграмма байтов (на англ. byteplot).

Для обнаружения сетевых атак было предложено несколько подходов к преобразованию сетевых данных в изображение. Можно выделить две группы основных подходов исходя из характера входных:

- описательные статистики сетевых потоков, такие как общее количество пакетов, их минимальный, максимальный и средний размер, количество пакетов в секунду и т. д. [2], т. е. преобразованные данные, представленные в виде таблицы;

- необработанные байты пакетов, которые используются для создания изображений уровня пакетов или изображений уровня сеансов [3], т. е. данные, представленные в виде дампов сетевого трафика, обычно в формате PCAP.

В работе предлагается следующая методика выявления аномалий в сетевом трафике на основе свёрточных сетей. Ее ключевыми компонентами являются *AnomalyDetectionHP* = $\langle Data, Data2ImagePreprocessor, AnomalyModels, AnomalyDetector, AnomalyLabel \rangle$, где *Data* – анализируемые и генерируемые локально данные; отображение *Data2ImagePreprocessor*, которое осуществляет трансформацию данных в изображение; отображение *AnomalyDetector*, которое на основе обученных в федеративном режиме аналитических моделей *AnomalyModels* классифицирует данные *Data* как нормальные или аномальные. Выходом аналитических моделей является метка *AnomalyLabel*, которая принимает значение *True* или *False* в зависимости от того, каким образом были классифицированы данные. С учетом типа входных данных в качестве аналитических моделей в методике применяются свёрточные нейронные сети.

Входными данными для преобразования *Data2ImagePreprocessor* служит «сырой» сетевой трафик, представленный всевозможными битовыми цепочками $\{0,1\}^+ = \{0,1,00,01,10,11,000,\dots\}$, длина которых определяется длиной сетевого пакета. Далее данные последовательности бит преобразуются в изображения в оттенки серого. Цвет пикселя определяется по следующему правилу: бинарная последовательность разбивается по 8 бит (1 байту), а затем каждый байт отображается на соответствующий уровень серого: $0x00 \rightarrow 0$ (черный цвет), $\dots, 0xFF \rightarrow 255$ (белый цвет). Размер изображения определяется или эмпирически, или на основе статистического анализа сетевого трафика, который используется в качестве обучающей выборке.

Для оценки разработанной методики использовался набор данных CICIDS2017 [4]), представленных в виде PCAP файлов.

Эксперименты показали, что точность обнаружения вторжений с использованием предложенной методики дает сопоставимые результаты даже в случае использования достаточно простой свёрточной нейронной сети, и при этом не возникает необходимости в какой-либо специфической предобработке сетевых данных с целью извлечения признаков.

Литература

1. *Alrabaee S., Karbab E. B., Wang L., Debbabi M.* Bineye: Towards efficient binary authorship characterization using deep learning // *Computer Security – ESORICS 2019 Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 47–67.*
2. *Masum M., Shahriar H., Haddad H. M.* A transfer learning with deep neural network approach for network intrusion detection // *International Journal of Intelligent Computing Research (IJICR). 2021. Vol. 12. P. 087–1095.*
3. *Rong C. et al.* Transnet: Unseen malware variants detection using deep transfer learning // *Security and Privacy in Communication Networks. Cham: Springer International Publishing, 2020. P. 84–101.*
4. *Sharafaldin I., Lashkari A., and Ghorbani A.* Toward generating a new intrusion detection dataset and intrusion traffic characterization. 2018. P. 108–116.

Е.С. Новикова

*Санкт-Петербургский Федеральный Исследовательский Центр РАН,
г. Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код: 9009-5505*

О МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ, ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ПЕРСОНАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Одной из проблем информационной безопасности, ставшей актуальной в последнее время, является задача защиты персональных данных. Случаи утечки персональных данных стали причиной ужесточения организационных и технических требований к обработке персональных данных в том числе и на законодательном уровне. При разработке систем, выполняющих сбор и обработку таких данных, все чаще применяется подход, учитывающий защищенность персональных данных уже на этапе проектирования систем (privacy by design) [1]. В данной работе обсуждается понятие конфиденциальности персональных данных и необходимость разработки методологической базы, позволяющей оценить риски, возникающие при обработке персональных данных, и выработать практические рекомендации по их снижению уже на этапе проектирования информационных систем.

Очень часто понятия безопасности данных и их конфиденциальности (или их приватности) смешиваются, однако между этими понятиями есть существенная разница. Безопасность данных связана с защитой информации от несанкционированного доступа и действий внешних и внутренних злоумышленников, а риски безопасности определяются на основе вероятности нарушения конфиденциальности, целостности и доступности данных и последствий таких нарушений.

Конфиденциальность персональных данных возникает при обработке персональных данных, т.е. при обработке, касающейся данных определенного типа, и действий, связанных с их сбором, хранением, аналитической обработке и т. д. Конфиденциальность персональных данных следует рассматривать в контексте дей-

ствующих регулирующих нормативных документов о персональных данных, а также существующих социально-психологических теорий приватности, поскольку нарушение конфиденциальности персональных данных связано не только с нарушением целостности и доступности таких данных, но и с нарушением права их субъекта на неприкосновенность частной и личной жизни.

Следует отметить, что понятие приватности (privacy) междисциплинарно, оно применяется в экономике, юриспруденции [2]. В технических науках приватность трактуется неоднозначно [3]. В частности, Б. Шнайер [4] использует данное слово как синоним слову конфиденциальность, А. Вестин определяет приватность как способность индивидуума, группы или организации контролировать распространение информации о них [5].

Таким образом, подход privacy by design означает не только проработку технических и организационных мер по защите данных на всех этапах разработки информационной системы, но и определяет необходимость учитывать тип обрабатываемых данных, объем собираемых данных, срок их хранения, а также обстоятельства и цели обработки.

Многогранность понятия «приватности» и необходимость учитывать разнообразные требования к обработке персональных данных обуславливают необходимость создания общей методологической базы, предусматривающей инструментарий для моделирования процессов обработки персональных данных, происходящих в информационных системах, оценки рисков, связанных с их использованием и практическими рекомендациями разработки подобных систем.

В качестве базы для разработки подобного инструментария может служить онтология процессов обработки персональных данных, предложенная в [6]. Она предусматривает определение типов персональных данных, целей и оснований для их обработки, позволяет специфицировать технические и организационные меры по обеспечению их безопасности. Формализованное представление процессов сбора, обработки и хранения данных позволяет разработать алгоритмы оценки рисков их использования, которые не зависят от субъективного восприятия рисков. Кроме того, она естественным образом формирует основу для разработки практических рекомендаций и правил, эффективность

применения которых можно оценить в контексте оценок рисков, возникающих при обработке персональных данных разного рода.

Литература

1. *Cavoukian A.* Privacy by Design: The 7 Foundational Principles Information and Privacy Commissioner of Ontario. 2011. URL: <https://www.ipc.on.ca/wp-content/uploads/Resources/7foundationalprinciples.pdf> (дата обращения: 12.02.2024)
2. *Нартова-Бочавер С.* Теория приватности как направление зарубежной психологии. 2006. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:161713011> (дата обращения: 12.02.2024).
3. *Milch R.S., et al.* Building Common Approaches for Cybersecurity and Privacy in a Globalized World. 2019. DOI: 10.2139/ssrn.3508933 (дата обращения: 12.02.2024).
4. *Schneier B.* Secrets and lies: digital security in a networked world. Paperback Edition. Indianapolis: Wiley Publishing. 2004.
5. *Westin A.F.* Privacy and Freedom. New York: Atheneum. 1967.
6. *Novikova E., Doynikova E., Kotenko I.* P2Onto: Making Privacy Policies Transparent // Lecture Notes in Computer Science (LNCS). Springer. 2020. Vol. 12501 LNCS. P. 235–252. DOI: 10.1007/978-3-030-64330-0_15.

А.И. Горев, Е.Г. Горева

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

ЗАЩИТА РАБОТЫ ОФИСА: ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА

Компьютеризация деятельности предприятий и организация, имевшая взрывной характер в 90-е годы XX столетия, проходила бессистемно и хаотично. Негативные последствия этого процесса, обусловленного появлением и стремительным распространением персональных компьютеров (далее – ПК), до сих пор можно увидеть в любой организации: ПК с операционными системами разных версий, сетевое и офисное оборудование различных производителей, большая избыточность периферийного оборудования для организации рабочих мест. Неоднократно принимаемые решения по переходу к безбумажной технологии сводятся к появлению написанных собственными или нанятыми работниками уникальных баз данных и систем внутренней корреспонденции. До сих пор почтовые сервисы корпоративной почты используются для распространения внутренних документов. Можно констатировать, что за истекшее 30-летие процесс компьютеризации документооборота свелся к замене пишущих машинок на ПК и появлению в организациях специализированных подразделений по обслуживанию вычислительной и офисной техники, основу которых составляют технически грамотные специалисты.

Дополнительные проблемы создают специализированные фирмы – производители программного обеспечения (далее – ПО), которые, как любой бизнес, заинтересованы в победе в конкурентной борьбе и росте продаж своей продукции. В результате на рынке ПО можно встретить десятки программ для реализации любой работы. Только на официальном сайте единого реестра российского программного обеспечения зарегистрировано более 20 тысяч программ. Из них в классе «Специализированное ПО

органов исполнительной власти РФ, государственных корпораций, компаний и юридических лиц с преимущественным участием РФ для внутреннего использования» состоит более 320 программных систем. Трудно представить стоимость разработки этого ПО, но основная сложность вопроса заключается в организации защиты программ и данных. Анализ существующих решений показывает, что проприетарное (собственническое, с закрытым кодом) ПО, выполненное для собственных нужд или по заказу часто имеет нестандартные форматы хранения данных [1, с. 8–15], что существенно усложняет последующее взаимодействие с другими органами и клиентами. Проблемы возникают также в случае отказа поставщика ПО от дальнейшего сопровождения [1, с. 149].

Анализ существующего положения на рынке ПО показывает, что системы защиты информации создаются и развиваются как самостоятельный сектор ПО. В некоторых случаях это действительно оправдано: сложно представить работу в сети без программы-антивируса. Но очень большой класс защитного ПО ориентирован на организацию сбора и отслеживания технологической информации, характеризующей режимы работы пользователей: DLP – системы предотвращения утечки данных, EDR – системы обнаружения и расследования подозрительного поведения на конечных точках, SIEM – системы анализа событий безопасности, исходящих от сетевых устройств и приложений, DCAP – системы защиты неструктурированных данных и др. В настоящее время только классов этих систем более тридцати, и они продолжают появляться, модифицироваться и развиваться в соответствии с циклом зрелости технологий Гартнера [2].

При организации автоматизированной обработки данных для организации защиты данных перед руководителем возникает сложная задача выбора как класса системы защиты, так и вендора, предлагающего конкретную систему. Но и в случае установки выбранной системы могут возникнуть сложности взаимодействия системы обработки информации с внешней системой защиты. Следует также отметить сложность грамотной настройки систем защиты, поскольку в случае «жесткой» регламентации операций безопасник будет завален ложноположительными сообщениями об инцидентах, а «мягкая» регламентация

сделает бесполезной применение этих систем из-за большого количества незарегистрированных инцидентов.

Возможным выходом в данной ситуации может стать разработка типовой системы документооборота стандартного типа со встроенными системами обеспечения безопасности

Литература

1. *Горев А.И.* Правовое регулирование оборота программного обеспечения. Омск: ОМА МВД России, 2016.
2. Gartner Hype Cycle.
URL: <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle> (дата обращения: 14.02.2024).

В.Н. Семенихин

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

НЕИЗМЕНЯЕМОСТЬ ДАННЫХ

Неизменяемость данных – это концепция, согласно которой информацию в базе данных нельзя удалить или изменить. В неизменяемых базах данных информацию можно только добавлять. Это означает, что база данных не будет перезаписывать или изменять элемент при появлении новой информации. Даже если допущена ошибка, она исправляется путем добавления новой записи и не затирается. Чтобы изменить или удалить данные в неизменяемой базе, необходимо создать новую запись, а старую необходимо пометить как принадлежащую предыдущей версии. Таким образом, сохраняется вся история того, как база приобрела нынешнее состояние. Неизменяемые данные подходят для случаев когда ведется работа с:

1. Большим потоком данных. В ситуации, когда приложение получает огромный объем данных каждую секунду, приложение не может позволить себе задержек в их хранении. Большинство традиционных баз данных имеют определенную задержку, поскольку они стирают предыдущие данные, записывают новые и проверяют целостность. В случае неизменяемых данных происходит сильная экономия вычислительных ресурсов системы.

2. Сохранением истории изменений. В то время как традиционные базы данных могут обеспечить историю изменений, они не гарантируют сохранность данных. Неизменяемые базы данных по своей природе гарантируют, что никакие данные никогда не будут удалены.

3. Аудитом и отладкой. Системы, которые часто изменяются, например веб-сайты или программное обеспечение, должны сохранять основные слепки для отслеживания изменений. Большинство систем контроля версий хранят данные в неизменяемых файлах, поэтому в них отсутствует риск их перезаписи [1].

Используется огромное количество схем для работы с такими данными: в распределенных системах, на основе файловых систем, на аппаратной основе, на основе криптографии, на основе облачных систем. Неизменяемые данные очень важны в процессах криминалистики, администрирования, аудита и отладки. Отдельно стоит отметить их важность в решении спорных ситуаций. Примерами использования неизменяемых данных являются:

1. Цепочки поставок. Судоходство. Логистические цепи. Неизменяемые данные помогают достичь прозрачности для всех участников логистической цепи.

2. Документооборот. Неизменяемые данные позволяют достичь большей степени прозрачности и безопасности.

3. Медицина. Неизменяемые данные, как технология, используются для хранения и анализа исследовательских данных. А также для отслеживания лекарств, их производителей, поставщиков.

4. IoT. Умные устройства в медицине постоянно помогают врачам, собирая данные о состоянии пациентов в реальном времени: информацию о сердцебиении, уровне кислорода, температуры тела и других показателях. Они используются в спортивной медицине, при изучении внутренних органов, для удаленного мониторинга состояния здоровья пациентов и др. Хранение таких критически важных данных позволит усилить их сохранность и надежность [2].

5. Делопроизводство в судах. Неизменяемые данные позволяют удостовериться в подлинности доказательств и быть уверенным, что они не были подменены.

6. Цифровая валюта.

Литература

1. What is immutable data? URL: <https://www.tibco.com/glossary/what-is-immutable-data> (дата обращения: 05.02.2024).
2. 20+ примеров использования блокчейн технологии. URL: <https://digiforest.io/blog/20-blockchain-project-examples-part-1> (дата обращения: 05.02.2024).

А.Н. Мироненко¹, Н.С. Кудряшов

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

¹SPIN-код: 9896-0102

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ АТАК НА АЛГОРИТМЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В данной работе было проведено экспериментальное исследование состязательных атак (FGSM, DeepFool и JSMA) на глубокую нейронную сеть ResNet50 при решении задач классификации различных изображений.

Исследование показало, что модель ResNet50 подвержена non-target FGSM [1] атакам, что открывает возможности для разработки методов обнаружения и предотвращения атак, а также улучшения архитектуры моделей глубокого обучения. Однако, из-за ограниченного числа шагов, FGSM не всегда может найти наиболее оптимальное состязательное возмущение, что снижает степень искажения исходных данных.

DeepFool-атака [2] позволяет искажать изображения с помощью минимальных изменений, которые сложно заметить человеческому глазу, но успешно обманывают модель глубокого обучения ResNet50. Однако, такие вычисления для минимальных изменений приводят к более медленной работе и большому расходу вычислительных ресурсов. В ходе тестирования нашей реализации атаки DeepFool одно изображение не смогло обмануть нейросеть ResNet50, что демонстрирует возможность обмана демонстрирует возможность обмана даже сложных и надежных моделей глубокого обучения при правильном применении состязательных методов атаки.

Еще одной из реализованных атак является JSMA [3] – подход к состязательным атакам на модели глубокого обучения, основанный на использовании карт важности. Он позволяет вычис-

лить наиболее важные пиксели во входном изображении для обмана модели классификации. Однако, этот метод требует значительного времени вычислений и сложен в реализации, в сравнении с другими рассмотренными в работе.

В целом, можно сказать, что состязательные воздействия на изображения могут сильно исказить результаты прогнозирования модели, которые приведут к неправильной категоризации изображений и снижению точности предсказания. Следовательно, решение задач, связанных с защитой глубоких нейронных сетей, позволит повысить информационную безопасность систем машинного обучения и гарантировать точность прогнозов, необходимую для успешной работы этих систем в разных отраслях жизнедеятельности.

Литература

1. Состязательный пример с использованием FGSM. URL: https://www.tensorflow.org/tutorials/generative/adversarial_fgsm?hl=ru (дата обращения: 10.02.2024).
2. DeepFool: a simple and accurate method to fool deep neural networks. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2016/papers/Moosavi-Dezfooli_DeepFool_A_Simple_CVPR_2016_paper.pdf (дата обращения: 10.02.2024).
3. Безопасность алгоритмов машинного обучения. Атаки с использованием Python. URL: <https://habr.com/ru/companies/dsec/articles/437092/> (дата обращения: 10.02.2024).

С.В. Усов

*Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
г. Омск, Россия
SPIN-код: 6045-5172*

ОБЗОР ОПИСАТЕЛЬНОГО ОХВАТА ИЕРАРХИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ ООHRU

Описание подсистем безопасности компьютерных систем с помощью математических моделей восходит к 70-м годам прошлого столетия. Было предложено несколько кардинально различающихся подходов, самыми популярными среди которых можно назвать дискреционный, мандатный и ролевой, но все они (дискретный и мандатный – в явном виде) базировались на субъектно-объектной парадигме, в рамках которой компьютерная система представляется в виде набора пассивных сущностей – объектов, и активных сущностей – объектов.

В дискреционных моделях права доступа субъектов к объектам определяются непосредственно: в модели Харрисона-Руззо-Ульмана (HRU) [1] они заносятся в таблицу, называемую матрицей доступов, а в модели Take-Grant представляются дугами на графе, вершинами которого являются субъекты и объекты.

В мандатных моделях вводятся уровни допуска субъектов и поставленными в соответствие им уровни секретности объектов, а права доступа определяются по общим правилам вида «нет чтения вверх», «нет записи вниз» и т. п.

Наконец, ролевое разграничение доступа не вводит в явном виде понятие права доступа, заменяя его полномочием (совмещение права доступа и объекта доступа), набором полномочий определяются роли, которые в свою очередь назначаются субъектам. Как правило, роли не рассматриваются независимо друг от друга, а объединены в иерархию ролей, в рамках которой происходит наследование полномочий от младших ролей иерархии к старшим (или наоборот).

В связи с распространением функционально-ориентированной, а в последствии и объектно-ориентированной парадигм при создании языков программирования, а затем и при проектировании реальных информационных систем (в том числе операционных систем) возникла необходимость в пересмотре и классических моделей безопасности. Попытка такого пересмотра была предпринята в рамках научных работ сотрудников кафедры информационной безопасности Омского государственного университета начиная с 2009 года.

Объектно-ориентированный подход не разделяет сущности системы на активные и пассивные, но допускает наличие у каждого объекта как пассивных элементов – полей данных, – так и активных, – методов. Объекты распределены по классам, каждый класс определяет набор полей и методов своих объектов, а различные классы (и принадлежащие к ним объекты) связаны по принципу наследования, при чём в модели безопасности наследуются не только поля и методы, но и права объектов данного класса. Например, в работе [2] была предложена объектно-ориентированная версия модели HRU (далее OOHRU), а в [3] уже описана OOHRU с заданной на её классах иерархией.

Было предложено несколько иерархических моделей OOHRU, отличающихся способами распространения прав доступа, а само введение иерархии позволило наделить дискреционную модель чертами как мандатной, так и ролевой моделей. В связи с этим возник вопрос, возможно ли с помощью OOHRU с иерархией смоделировать классические субъектно-объектные модели, другими словами – насколько велик описательный охват новой модели.

Впоследствии [4] было показано, что с помощью OOHRU можно описать классическую модель HRU и модель Take-Grant.

Мандатные политики безопасности поддаются моделированию с помощью иерархической OOHRU [5].

Показано [6], что для любой субъектно-объектной ролевой модели (как без иерархии, так и с иерархией с таксономическим листовым подходом к наследованию ролей и др.) существует реализующая ее OOHRU с иерархией.

Таким образом, описательный охват иерархической модели ООHRU представляется достаточно широким, чтобы она могла заменить классические модели безопасности.

Литература

1. *Harrison M.A., Ruzzo W.L., Ulman J.D.* Protection in Operating Systems // Communications of the ACM. 1975. P. 14–25. М.: Мысль, 2003.
2. *Усов С.В., Белим С.В.* Объектно-ориентированный подход в построении дискреционной политики безопасности // Математические структуры и моделирование. 2009. № 20. С. 153–159.
3. *Усов С.В.* Неоднородные объектно-ориентированные модели с иерархией // Проблемы обработки и защиты информации. Книга 3. Модели разграничения доступа: коллективная монография / под общ. ред. С.В. Белима. Омск: ООО «Полиграфический центр КАН», 2013. С. 93–114.
4. *Усов С.В.* Об отношении между дискреционными моделями объектно-ориентированных и субъектно-объектных компьютерных систем // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2013. Вып. 3. С.18–26.
5. *Усов С.В.* О связи между объектно-ориентированной дискреционной и субъектно-объектной мандатной моделями безопасности // Математические структуры и моделирование. 2016. № 4 (40). С. 151–163.
6. *Усов С.В.* О представлении некоторых ролевых моделей разграничения доступа объектно-ориентированной моделью HRU // Математические структуры и моделирование. 2018. № 4 (48). С. 127–137.

Т.В. Вахний¹, С.В. Вахний

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

¹SPIN-код: 3566-8640

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРАТЕГИИ АДМИНИСТРАТОРА ПО ПРОТИВОДЕЙСТВИЮ ХАКЕРСКИМ АТАКАМ НА ОСНОВЕ ПОЭТАПНОГО РЕШЕНИЯ БИМАТРИЧНОЙ ИГРЫ

В современном мире глобальная цифровизация позволяет компаниям стать более эффективными, инновационными и адаптивными, что является ключевым фактором успешной конкуренции на рынке. В связи с этим вопросы кибербезопасности и сохранности данных выходят на первый план. Непрерывающийся рост числа атак, их усложнение и изощрённость побуждают к созданию большого количества средств защиты, и построение надёжной системы безопасности становится всё более сложной задачей. Использование теории игр позволяет обеспечить оптимизацию выбора программных продуктов для реализации наилучшей системы безопасности компании при минимизации финансовых затрат [1–3].

Один из подходов, моделирующих игру администратора безопасности и атакующего хакера, основан на проведении биматричной игры, в которой интересы игроков не совпадают и задаются разными платёжными матрицами. 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 потери от атак и затраты на покупку средств защиты к минимуму, а цель атакующего – выбор стратегии, которая даст ему наибольший выигрыш.

Решение биматричной игры сводится к отысканию наиболее выигрышных стратегий для каждого игрока [1; 3].

В учебной литературе биматричная игра описывается как одноходовая. Однако при выборе из большого количества программных продуктов у нескольких найденных наилучших стратегий цена игры может оказаться одинаковой. Поэтому в данной работе предлагается предусмотреть нахождение решения биматричной игры в несколько этапов. На первом этапе определить наилучшие стратегии игроков, мало отличающиеся по цене игры, а на втором – построить новые платежные матрицы из найденных наилучших стратегий и уточнить решение игры, предполагая, что второй игрок выбирает свою стратегию случайным образом, т.к. все они для него наилучшие. Тогда на втором этапе можно воспользоваться теорией статистических решений и для выбора стратегий игроков использовать критерии оптимальности, основанные не на цене игры, а на оценке степени удачности многократных применений стратегии, т. е. на оценке величины риска. В таком случае от платёжных матриц игроков нужно перейти к матрицам рисков, в которых риск рассчитывается как разность между ценой игры при выборе стратегии в условиях, когда заранее не известна стратегия второго игрока, и в условиях, когда она заранее известна [4].

Матрица рисков для администратора безопасности строится по столбцам его платёжной матрицы. В каждом столбце нужно найти наименьшее значение, это значение по очереди вычесть из всех значений в данном столбце и результат записать в те же позиции. Элементы матрицы рисков для администратора безопасности показывают на сколько больше может оказаться ущерб компьютерной системе, по сравнению с минимально возможным значением для каждого типа атаки, из-за неверного выбора стратегии защиты. Аналогично матрица рисков для хакера строится по строкам его платёжной матрицы. В каждой строке нужно найти наибольшее значение, из этого значения по очереди вычесть все значения в данной строке и результат записать в те же позиции. Элементы матрицы рисков хакера показывают на сколько меньше может оказаться выигрыш по сравнению с максимально возможным значением.

Одним из критериев выбора оптимальной стратегии игрока, основанном на оценке величины риска, является критерий Сэвиджа [4]. Согласно этому критерию оптимальной стратегией является та, при которой максимальный риск является минимальным. Возможность проведения второго этапа игры в большинстве случаев позволяет выявить наиболее выигрышные стратегии игроков среди найденных на первом этапе. На основе описанного подхода можно создать программное приложение, которое будет полезно администратору безопасности в принятии решений в вопросах оптимизации защиты компьютерной системы.

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., Гуц А.К., Константинов В.В.* Программное приложение для выбора оптимального набора средств защиты компьютерной информации на основе теории игр // Вестник Омского университета. 2013. № 4 (70). С. 201–206.
3. *Вахний Т.В., Вахний С.В.* Решение биматричной игры с применением различных критериев для выбора стратегий администратора безопасности и злоумышленника // Математические структуры и моделирование. 2023. № 3 (64). С. 111–120.
4. *Шевченко Д.В.* Методы принятия управленческих решений: задания и методические указания для выполнения расчётно-графической работы. Казань: Познание, 2014. 69 с.