

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
X Международной научной конференции

(Омск, 10 февраля 2023 г.)

© ФГАОУ ВО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского», 2023

ISBN 978-5-7779-2621-0



2023

УДК 004+519+316
ББК 22.18я43+32.973я43
М340

Рецензенты:

канд. физ.-мат. наук, доцент *А.Н. Кабанов*,
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 X Международной научной конференции (Омск, 10 февраля 2023 г.) / [отв. за вып. И. П. Бесценный]. – Омск : Издательство Омского государственного университета, 2023. – 1 CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7779-2621-0

В настоящий сборник включены тезисы докладов, присланные на X Международную научную конференцию «Математическое и компьютерное моделирование». Она состоялась на факультете цифровых технологий и кибербезопасности ОмГУ им. Ф.М. Достоевского 10 февраля 2023 г.

УДК 004+519+316
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 978-5-7779-2621-0

© Оформление. ФГАОУ ВО «ОмГУ
им. Ф.М. Достоевского», 2023

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

Дата выпуска: 07.02.2023.
1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.
Тираж 8 копий. Объем 4,2 Мб.

Издательство
Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского
644077, г. Омск, пр. Мира, 55а
тел.: 8(3812) 67-32-55, 64-30-61, 64-13-07

Содержание

Секция «Математические модели и методы»

<i>Гутор А.Г., Сташулёнок С.П.</i> Влияние ошибки на результат критерия знаковых рангов Вилкоксона.....	10
<i>Колосов Н.В., Сташулёнок С.П.</i> Сравнение различных способов моделирования гамма-распределения.....	14
<i>Гамзаев Х.М., Гусейнзаде С.О., Керимова С.Р.</i> Численный метод решения одной обратной задачи для волнового уравнения	17
<i>Гамзаева Н.Х.</i> Об одной задаче идентификации диффузионной модели химико-технологического процесса.....	20
<i>Бородич С.М.</i> О поведении при $t \rightarrow +\infty$ решений одного неавтономного параболического уравнения.....	23
<i>Кавитова Т.В., Молчанова А.А.</i> Поведение решений нелинейных псевдопараболических уравнений при $ x \rightarrow \infty$	26
<i>Shrakova Yu.A., Podoksenov M.N.</i> Self-similar Lie algebra $E(2) \oplus \mathcal{R}$	28
<i>Велько О.А., Мартон М.В.</i> Интеграционные связи основ высшей математики и информационных технологий для студентов социально-гуманитарных специальностей.....	31
<i>Велько О.А.</i> Перспективы применения методов математического моделирования в образовании студентов социологов.....	35
<i>Мартон М.В.</i> Связь информационных технологий и математики в университетской подготовке географов.....	38
<i>Трубников Ю.В., Чернявский М.М.</i> Свойства структур частных производных от результата многочлена со своей производной при наличии кратных корней	42
<i>Голубятников В.П.</i> Инвариантные слоения в моделях генных сетей.....	45
<i>Голубятников В.П.</i> Модели генных сетей с диффузией.....	48
<i>Акинъшин А.А., Голубятников В.П., Кириллова Н.Е.</i> Математическое моделирование одной модели циркадного осциллятора.....	51

<i>Минушкина Л.С.</i> Периодические траектории моделей генных сетей с гладкими монотонными обратными связями	54
<i>Резник А.Л., Соловьев А.А.</i> Аналитическое и программное моделирование процесса оптимальной по быстродействию локализации точечных источников со случайной дисциплиной генерации импульсов.....	57
<i>Ромаданова М.М.</i> О влиянии выбора узлового вектора при построении В-сплайнов методом последовательных приближений.....	60
<i>Рязанцева Л.Т., Андрианова У.Д., Октябрьский В.П.</i> Разработка модели оценки эффективности вуза	63
<i>Ерёмин А.М., Захаров П.В., Чердниченко А.И.</i> Нелинейные высокоамплитудные колебания атомов на поверхности с положительной кривизной	66
<i>Гуц А.К., Захарихина Л.В., Виницкая Е.А., Черненко С.П., Керимзаде В.В.</i> Математическая модель геохимической трансформации почвенно-растительного покрова постпирогенных зон различной интенсивности горения.....	68
<i>Гуц А.К.</i> Проект моделирования ливневых дождевых стоков в Сочи	72
<i>Антоновская О.Г.</i> Метод точечных отображений в математическом моделировании системы с комбинированным частотно-фазовым управлением	75
<i>Максимова Н.Н., Чепикова А.Ю.</i> Исследование динамики хронического лимфолейкоза: модель с запаздыванием.....	78
<i>Мороз Л.И., Пережёлкин А.И.</i> Алгоритм для численной реализации дробно-дифференциальной модели Фишера – Колмогорова – Петровского – Пискунова	81
<i>Салмиянов В.О., Масловская А.Г.</i> Мультифрактальные характеристики растровых изображений бактериальной культуры в динамике роста на питательной среде.....	84
<i>Саруханян С.К., Масловская А.Г.</i> Вариация решеток клеточных автоматов в задаче имитационного моделирования эволюции бактериальных пленок	88
<i>Хмельёв А.П., Шевкун И.А., Масловская А.Г.</i> Влияние механизма диффузии на пространственно-временную конфигурацию бактериальной популяции	91
<i>Тавченко В.Ю.</i> Циклические расписания для задачи минимизации общего времени обработки идентичных деталей.....	95

<i>Хмара И.С.</i> Разработка алгоритмов локального поиска для робастной задачи о p -медиане	98
<i>Чуканов С.Н., Чуканов И.С., Лейхтер С.В.</i> Определение расстояния между изображениями на основе топологического анализа данных.....	100
<i>Захарова Ю.В., Захаров А.О.</i> О двухкритериальном подходе к решению задач составления расписаний на одной машине с нечеткими исходными данными	103
<i>Гольятин В.В., Лапенко Е.А., Потуданская М.Г.</i> Факторная модель формирования творческого потенциала студентов направления подготовки «биотехнические системы и технологии» в ОмГУ им. Ф.М. Достоевского	106
<i>Корчинская О.В., Иванова И.П., Емельянова В.Г.</i> Применение математического моделирования в селекции молочного скота.....	109
<i>Федорук В.А.</i> Обработка экспериментальных данных кубическими сплайнами с помощью «методики сдвига».....	112
<i>Филонова Е.О., Болдовская Т.Е.</i> Регрессионный анализ факторов, влияющих на безработицу в Омской области.....	115

Секция «Компьютерные науки и технологии»

<i>Антонович Д.А., Шидловская Д.В.</i> Моделирование процессов формирования низкоэнергетичных ионно-электронных пучков в источниках с плазменным эмиттером.....	118
<i>Касимова А.У., Верзунов С.Н.</i> Разработка интеллектуальной системы экспресс анализа физических свойств твердотельных структур геоматериалов	122
<i>Великанова Л.И., Лыченко Н.М.</i> Методология краткосрочного прогнозирования загрязненности воздуха на основе ИНС с учетом фактора загрязнения	125
<i>Гайдамако В.В.</i> Построение Simgrid-модели трехуровневого веб-приложения с учетом балансировки нагрузки	128
<i>Наумовская А.В.</i> Исследование и разработка композиционного покрытия для электрических нагревателей	131
<i>Астапенко Н.В., Тришин И.Г.</i> Сентимент-анализ текста: подходы, использование и сравнение.....	134
<i>Сабирова А.В., Астапенко Н.В.</i> Классификация методов прогнозирования.....	138

<i>Бекенева Я.А., Лопушанский А.М.</i> Частотный анализ текстов сообщений в социальных сетях для выявления критических ситуаций.....	141
<i>Кузнецов М.Д.</i> Применение семантических фреймворков и графовых баз данных для онтологического моделирования пользовательских соглашений.....	143
<i>Семочкина Е.В.</i> Карты систем для рекламной компании, выполненные в инструментальной среде «ARIS EXPRESS».....	146
<i>Семочкина Е.В.</i> Моделирование отжима сока с помощью универсальной среды моделирования «GPSS World».....	150
<i>Бухаров Д.Н.</i> Перколяционная модель С-Au наноспонджа.....	152
<i>Горшков Г.С., Полежаев В.Д., Полежаева Л.Н.</i> Подходы к совершенствованию информационно-образовательной среды вуза в условиях цифровой трансформации образования	155
<i>Рабинович Е.В.</i> Компьютерное моделирование осей синфазности на сейсмограммах отраженных волн.....	160
<i>Шлёнкин Д.В., Глущенко В.А., Низамова Г.Ф.</i> Распознавание лиц сотрудников на основе предобученной нейронной сети	163
<i>Чернова В.В., Веселова Е.М.</i> Численная реализация модели краткосрочной динамики раковой опухоли при лечении онколитическими вирусами.....	167
<i>Башев В.И.</i> Шаблонные процессы в процесс-ориентированной парадигме на примере языка роST.....	171
<i>Будников К.И., Курочкин А.В.</i> Исследование инструментов синхронизации потоков ОС Windows и Linux применительно к задаче http/https-фильтрации.....	174
<i>Пермяшкин Д.А.</i> Анализ проблемы конфликтов при параллельных вычислениях в процесс-ориентированной парадигме	177
<i>Сидоров А.В., Будников К.И.</i> Моделирование процесса измерения параметров многофазного потока со скважины с помощью нейронных сетей.....	180
<i>Харченко А.Д.</i> Разработка архитектуры облачных лабораторных стендов для изучения языка роST	183
<i>Синицын Д.В., Зюбин В.Е.</i> Разработка ядра облачной среды разработки для процесс-ориентированного расширения языка Си	186

<i>Потапова А.С.</i> Исследование статистических методов классификации по спектрам тлеющего разряда	188
<i>Масеевский А.М.</i> Разработка технологии виртуализации ПЛК	190
<i>Иванишкин Д.С.</i> Анализ спецификаций процесс-ориентированных распределенных микроконтроллерных систем управления	192
<i>Козлова А.В.</i> Разработка транслятора EDTL-требований в семантику LTL для веб-приложения спецификации событийно-темпоральных требований	195
<i>Гнездилова А.В.</i> К разработке контролируемого естественного языка для событийно-темпоральных требований.....	198
<i>Федорук В.А.</i> Программа-оболочка для создания тестов	201
<i>Моисеева Н.А., Полякова Т.А.</i> Цифровые сервисы для статистической обработки данных	204
<i>Герентьева О.А.</i> Экспериментальное исследование возникновения лесных пожаров с учетом профилактических мероприятий.....	208
<i>Дейнеко Т.А.</i> Переход в ОмГТУ с «галактики» на 1С в части ведения контингента аспирантуры	211
<i>Костеннов Т.В.</i> Разработка системы температурного контроля гидропонного раствора с использованием эффекта пельтье	213
<i>Костюшина Е.А.</i> Стратегия развития информационных систем в ОмГУ	216
<i>Опарина Т.М., Платновский С.Д.</i> Выбор нейронной сети для распознавания рукописных букв русского алфавита	219

Секция «Кибернетика и информационная безопасность»

<i>Михайлова Н.В.</i> Компьютерное мышление и математическое доказательство	222
<i>Ерovenko В.А.</i> Синдром профессора Преображенского в контексте «критического насыщения» математической информацией.....	226
<i>Kosheleva O., Kreinovich V.</i> Towards green machine learning.....	230
<i>Kosheleva O., Kreinovich V.</i> Need for topological quantum computing	233

<i>Kosheleva O., Kreinovich V.</i> Relation between the number of nucleons in the universe and the largest number of nucleons in an atom: graph-theoretic explanation	236
<i>Филимонов В.А.</i> «УМКА»: улей-мастерская когнитивной артели.....	239
<i>Алискеров М.Р.</i> Риски удаленной идентификации потребителей онлайн-услуг на основе биометрических данных	242
<i>Данилова О.Ю.</i> О применении сети Фейстеля в современных криптоалгоритмах	246
<i>Десницкий В.А.</i> Анализ атакующих воздействий на автономные устройства информационно-телекоммуникационных систем и сетей.....	248
<i>Гавришев А.А.</i> Обобщенный алгоритм формирования многоуровневых хаотических сигналов для скрытных систем связи.....	250
<i>Кузнецов Е.В.</i> Исследование механизмов управления правами доступа в облачном IDE языка Reflex	253
<i>Ищенко А.Д.</i> Моделирование операторов управления процессами процесс-ориентированного языка роST в системе Isabelle/HOL	255
<i>Черненко И.М.</i> Аксиоматическая семантика операторов управления процессами процесс-ориентированного языка роST	258
<i>Вахний Т.В., Вахний С.В.</i> Применение различных критериев для выбора стратегий администратора безопасности и злоумышленника при итеративном решении биматричной игры.....	261
<i>Богаченко Н.Ф., Лавров Д.Н.</i> Обмен ключами в мультимаршрутной среде	264

Секция
«Математические модели и методы»

УДК 519.25

А.Г. Гутор, С.П. Сташулёнок

*Белорусский государственный университет,
г. Минск, Беларусь*

**ВЛИЯНИЕ ОШИБКИ НА РЕЗУЛЬТАТ КРИТЕРИЯ
ЗНАКОВЫХ РАНГОВ ВИЛКОКСОНА**

Рассмотрим выборки $X = (X_1, \dots, X_n)$ и $Y = (Y_1, \dots, Y_n)$ одинакового размера, которые нельзя считать независимыми. Элементы выборки X независимы между собой и имеют общую функцию распределения F . Элементы выборки Y также независимы между собой и имеют общую функцию распределения G . Обе функции F и G принадлежат множеству всех непрерывных функций распределения.

Вычислим приращения $Z_i = Y_i - X_i = \theta + \varepsilon_i$, где θ – эффект воздействия, ε_i – случайная ошибка, удовлетворяющая условиям 4 и 5 для ε_i из [2, с. 39].

Рассмотрим задачу проверки гипотезы $H_0: \theta = 0$ против альтернативы $H_1: \theta \neq 0$.

Зададим уровень значимости критерия α . Затем вычислим величины $Z_i = Y_i - X_i, i = 1, \dots, n$. Упорядочим $|Z_i|$ по возрастанию. Обозначим R_i ранг (порядковый номер) величины $|Z_i|$, а $U_i = I_{\{Z_i > 0\}}$, где $I_{\{Z_i > 0\}}$ – индикатор события $Z_i > 0, i = 1, \dots, n$. В качестве статистики критерия рассмотрим $T = R_1 U_1 + \dots + R_n U_n$.

Для $n > 15$ используется центрированная и нормированная статистика

$$T^* = \frac{T - ET}{\sqrt{DT}} = \frac{T - n(n+1)/4}{\sqrt{n(n+1)(2n+1)/24}}.$$

Распределение T^* сходится к распределению $N(0, 1)$ при $n \rightarrow \infty$ при указанных выше предположениях, если справедлива гипотеза H_0 [3, с. 223].

Если модуль наблюдаемого значения этой статистики $|t^*| \geq x_{1-\frac{\alpha}{2}}$, где $x_{1-\frac{\alpha}{2}}$ — $(1-\frac{\alpha}{2})$ -квантиль закона $N(0, 1)$, то гипотеза H_0 на уровне значимости α отвергается, иначе — нет оснований для отвержения гипотезы.

Проводился следующий эксперимент. В пакете *Statistica* была смоделирована выборка из распределения хи-квадрат с числом степеней свободы 3 (сумма квадратов независимых случайных величин из нормального распределения с параметрами 0 и 1). В качестве выборки X рассматривалась эта выборка, $n = 100$. Далее была смоделирована выборка из нормального распределения с параметрами 0 и 1, (было проверено, что данная выборка действительно смоделирована «хорошо»: оказалось, что точный уровень значимости проверки совпадения с нормальным распределением по критерию Колмогорова больше 0,5). Элементам этой выборки соответствуют ε_i . «Смещение» ξ_i задается следующим образом $\xi_i = \sigma\varepsilon_i + a$. В качестве выборки Y рассмотрим $Y = (Y_1, \dots, Y_n)$, где $Y_i = X_i + \xi_i$. Выбирая различные значения для σ и a проверяем гипотезу H_0 для выборок X и Y . Результаты вычислений приведены в табл. 1. Случаи, когда гипотеза H_0 отвергается на уровне значимости 0,05, выделены жирным шрифтом.

Заметим, что a отвечает за эффект воздействия θ . Поэтому в столбце, где $a = 0$, эффект воздействия нулевой, и мы получаем достаточно большие уровни значимости p , при которых нет оснований отвергать гипотезу H_0 ни на уровне значимости 0,01, ни на уровне значимости 0,05.

Также приведём результаты вычислений, где приращение ξ_i моделировалось каждый раз заново, как случайная величина

из нормального распределения с параметрами a и σ^2 . В этих вычислениях не проверялась степень соответствия приращения ξ_i нормальному распределению с параметрами a и σ^2 . Заметим, что в остальном – это тот же эксперимент, что и описанный выше. Результаты вычислений приведены в табл. 2. Случаи, когда гипотеза H_0 отвергается на уровне значимости 0,05, выделены жирным шрифтом.

Таблица 1

Истинные уровни значимости (p-value) критерия знаковых рангов Вилкоксона для проверки гипотезы H_0

$\sigma \backslash a$	0	0,001	0,01	0,1
0,0001	0,427049	0,000000	0,000000	0,000000
0,001	0,292742	0,000000	0,000000	0,000000
0,01	0,292742	0,041458	0,000000	0,000000
0,1	0,292742	0,260873	0,041458	0,000000
1	0,449391	0,556564	0,788554	0,662353

Таблица 2

Истинные уровни значимости (p-value) критерия знаковых рангов Вилкоксона для проверки гипотезы H_0

$\sigma \backslash a$	0	0,001	0,01	0,1
0,001	0,142060	0,000000	0,000000	0,000000
0,01	0,169030	0,189036	0,000000	0,000000
0,1	0,322059	0,004609	0,904213	0,000000

Заметим, что если вместо случайных величин из распределения хи-квадрат рассматривать в качестве X случайные величины из любого другого распределения, то из-за специфики критерия результаты не изменятся.

Литература

1. *Wilcoxon F. Individual Comparisons by Ranking Methods // Biometrics Bulletin* 1. – 1945. – P. 80–83.
2. *Гутор А.Г., Сташуклёнок С.П.* Применение статистических критериев Манна – Уитни и Вилкоксона в исследованиях эффективности обу-

- чения // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов VII Международной научной конференции, посвящённой памяти С.С. Ефимова (Омск, 22 ноября 2019 г.) / [отв. за вып. И.П. Бесценный]. – Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2019. – С. 38–40.
3. *Лагутин М.Б.* Наглядная математическая статистика. – М.: БИНОМ; Лаборатория знаний, 2009.

Н.В. Колосов, С.П. Сташулёнок

*Белорусский государственный университет,
г. Минск, Беларусь*

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГАММА-РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Данная работа является продолжением [2]. В ней рассматривается моделирование гамма-распределения с параметрами $\lambda = 5/2$, $\theta = 2$ [1, с. 10]. Для моделирования используются два подхода.

В каждом из подходов моделировались выборки из гамма-распределения объёма 2000. Первый из них состоит в следующем: генерировались пять выборок из равномерного распределения на отрезке $[0, 1]$ с использованием мультипликативного датчика со стартовыми значениями k_0 равными 2, 100, 1000, 10000, 100000 [3, с. 21]. В каждом из случаев объём выборки из равномерного распределения равнялся 10000. Далее методом Бокса – Мюллера [3, с. 51] для каждой выборки из равномерного распределения получились две независимые выборки из стандартного нормального распределения, объём каждой 5000. Далее для проверки качества смоделированных выборок из стандартного нормального распределения с помощью критерия Колмогорова проверялись гипотезы о виде распределения. В каждом из случаев статистические данные не противоречили гипотезе. После объединения двух выборок последовательно суммировались квадраты пяти элементов получившейся выборки. Таким образом объём выборки, элементы которой являются суммами квадратов, равен 2000. Затем проверялась гипотеза о виде распределения, где исследуемое распределение – это гамма-распределение с параметрами $\lambda = 5/2$, $\theta = 2$. Заметим, что гамма-распределение с данными параметрами является хи-квадрат распределением с пятью степенями свободы.

Во втором подходе непосредственно моделировались в Python 20 выборок объёма 2000 из гамма-распределения с теми же параметрами.

Для первого способа моделирования проверялась гипотеза случайности [1, с. 133]. Для всех величин, смоделированных с помощью мультипликативного датчика, гипотеза не отвергалась.

Для проверки гипотезы о виде распределения для всех способов использовался критерий согласия Колмогорова (табл. 1, 2).

Таблица 1

**Статистики критерия согласия Колмогорова
и истинные уровни значимости для величин, смоделированных
с помощью мультипликативного датчика (k_0 – стартовое число)**

	Статистика критерия				
k_0	2	100	1000	10000	100000
Gamma	0.0195	0.0194	0.011	0.009	0.017

	Истинный уровень значимости (p-value)				
k_0	2	100	1000	10000	100000
Gamma	0.42	0.44	0.96	0.99	0.62

Таблица 2

**Статистики критерия и истинные уровни значимости
для проверки гипотезы о виде распределения (второй способ)**

<i>№</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_{Gn}	0.022	0.012	0.013	0.016	0.019	0.016	0.022	0.013	0.014	0.023
p-value	0.29	0.93	0.83	0.66	0.45	0.66	0.28	0.90	0.83	0.22
<i>№</i>	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
D_{Gn}	0.020	0.017	0.012	0.015	0.016	0.012	0.027	0.013	0.015	0.028
p-value	0.40	0.58	0.93	0.75	0.69	0.94	0.09	0.89	0.76	0.09

Литература

1. *Ивченко Г.И., Медведев Ю.И.* Математическая статистика: учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1984. – 248 с.: ил.
2. *Колосов Н.В., Сташукёнок С.П.* Сравнительный анализ различных способов моделирования гамма-распределения // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов IX Международ-

ной научной конференции, посвященной 85-летию проф. В.И. Потапова (Омск, 19 ноября 2021 г.) / [отв. за вып. И.П. Бесценный]. – Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2021. – С.16–18.

3. *Лагутин М.Б.* Наглядная математическая статистика: учебное пособие – М.: БИНОМ; Лаборатория знаний, 2007. – 472 с.: ил.
4. Теория вероятностей. Практикум в двух частях. Часть 2: учебное пособие / Н.В. Лазакович, Е.М. Радыно, С.П. Сташулёнок. А.Г. Яблонская, О.Л. Яблонский; под ред. Н.В. Лазаковича. – Минск: БГУ, 2014. – 175 с.

Х.М. Гамзаев, С.О. Гусейнзаде, С.Р. Керимова

*Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности,
г. Баку, Азербайджан*

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ОДНОЙ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ

Известно, что при математическом моделировании многих физических процессов в геофизике, сейсмике, электродинамике, теплофизике, медицине и многих других областях техники возникают обратные задачи по определению правых частей волновых уравнений [1–3]. Однако в большинстве публикациях, посвященных численным методам решения обратных задач по определению правых частей волновых уравнений, рассматриваются случаи, когда правая часть зависит от времени. В настоящей работе рассматривается обратная задача по определению правой части одномерного волнового уравнения, зависящего от пространственной переменной.

Пусть рассматривается одномерное волновое уравнение

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(x) \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right) + p(x)f(x,t), \quad 0 < x < 1, \quad 0 < t \leq T, \quad (1)$$

со следующими начальными

$$u(x,0) = \varphi(x), \quad \frac{\partial u(x,0)}{\partial t} = r(x) \quad (2)$$

и граничными условиями

$$u(0,t) = \theta(t), \quad u(1,t) = v(t). \quad (3)$$

Предполагается, что помимо функции $u(x,t)$ неизвестной является также функция $p(x)$ и требуется восстановление этой функции по следующему условию финального переопределения

$$u(x,T) = \psi(x). \quad (4)$$

Задача заключается в определении функций $u(x, t)$ и $p(x)$, удовлетворяющих уравнению (1) и условиям (2)–(4).

Вводится равномерная разностная сетка

$$\bar{\omega} = \{(x_i, t_j) : x_i = i\Delta x, t_j = j\Delta t, i = 0, 1, 2, \dots, n,$$

$$j = 0, 1, 2, \dots, m, \Delta x = 1/n, \Delta t = T/m\}$$

в прямоугольной области $\{0 \leq x \leq 1, 0 \leq t \leq T\}$ и с помощью метода конечных разностей строится дискретный аналог обратной задачи (1)–(4) на сетке $\bar{\omega}$

$$\frac{u_i^{j+1} - 2u_i^j + u_i^{j-1}}{\Delta t^2} = \frac{1}{\Delta x} \left[k_{i+1/2} \frac{u_{i+1}^{j+1} - u_i^{j+1}}{\Delta x} - k_{i-1/2} \frac{u_i^{j+1} - u_{i-1}^{j+1}}{\Delta x} \right] + p_i f_i^{j+1}, \quad i = \overline{1, n-1}, \quad j = \overline{1, m-1}. \quad (5)$$

$$u_i^0 = \varphi_i, \quad \frac{u_i^1 - u_i^0}{\Delta t} = r_i, \quad (6)$$

$$u_0^{j+1} = \theta^{j+1}, \quad u_n^{j+1} = v^{j+1}, \quad (7)$$

$$u_i^m = \psi_i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

где

$$u_i^j \approx u(x_i, t_j), \quad p_i \approx p(x_i), \quad \theta^{j+1} = \theta(t_{j+1}), \quad v^{j+1} = v(t_{j+1}), \quad \psi_i = \psi(x_i),$$

$$\varphi_i = \varphi(x_i), \quad r_i = r(x_i), \quad f_i^{j+1} = f(x_i, t_{j+1}), \quad k_{i+1/2} = k(x_i \pm \Delta x / 2).$$

Построенная разностная задача (5)–(8) представляет собой систему линейных алгебраических уравнений, в которой в качестве неизвестных выступают приближенные значения искомого функций $u(x, t)$ и $p(x)$ в узлах разностной сетки $\bar{\omega}$, т. е. u_i^j , p_i , $i = 0, 1, 2, \dots, n$, $j = 0, 1, 2, \dots, m$.

Для решения полученной разностной задачи предлагается специальное представление [4], с помощью которого разностная задача распадается на две независимые разностные задачи. В результате получена явная формула для определения приближенного значения искомого функции $p(x)$ при каждом дискретном значении пространственной переменной.

На основе предложенного вычислительного алгоритма были проведены численные эксперименты.

Литература

1. *Kabanikhin S.I.* Inverse and ill-posed problems. – Berlin: Walter de Gruyter, 2011.
2. *Isakov V.* Inverse Problems for Partial Differential Equations. – Berlin: Springer, 2017.
3. *Borukhov V.T., Zayats G.M.* Identification of a time-dependent source term in nonlinear hyperbolic or parabolic heat equation // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2015. – Vol. 91. – P. 1106–1113.
4. *Гамзаев Х.М.* Численный метод решения обратной задачи об источнике для уравнения конвективного переноса // Вычислительная механика сплошных сред. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 324–332.

Н.Х. Гамзаева

*Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности,
г. Баку, Азербайджан*

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИФФУЗИОННОЙ МОДЕЛИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Обычно химико-технологические процессы протекают в движущихся потоках и при этом гидродинамические закономерности перемещения оказывают существенное влияние на эффективность химических производств. В связи с этим при составлении математических моделей химико-технологических процессов важное значение имеет адекватное описание движения потоков веществ. При составлении математических моделей химико-технологических процессов в основном используют следующие гидродинамические модели: модель идеального смешения; модель идеального вытеснения; диффузионная модель; ячеечная модель; комбинированная модель [1; 2].

В настоящей работе рассматривается задача идентификации коэффициента турбулентной диффузии в однопараметрической диффузионной модели химико-технологического процесса.

Однопараметрическая диффузионная модель одномерного движения потока в аппарате представляется в виде дифференциального уравнения в частных производных параболического типа

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} + u \frac{\partial C(x,t)}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2}, \quad 0 < x < l, \quad 0 < t \leq T, \quad (1)$$

где $C(x,t)$ – концентрация субстанции, D – коэффициент турбулентной диффузии, u – скорость потока, l – длина аппарата, x – координата, вдоль которой движется субстанция, t – время. Распределение концентраций субстанции по аппарату в начальный момент времени $t = 0$ считается заданным

$$C(x,0) = \varphi(x). \quad (2)$$

А в качестве граничных условий используются условия Данквертса на концах аппарата. Согласно условию Данквертса сумма потоков вещества, подходящих к границе аппарата, должна быть равна потоку вещества, отходящего от границы, т. е.

$$c_0 u + D \frac{\partial C(0,t)}{\partial x} = u C(0,t), \quad (3)$$

$$u C(l,t) = c_l u + D \frac{\partial C(l,t)}{\partial x}. \quad (4)$$

Предполагается, что помимо функции $C(x,t)$ неизвестной является также коэффициент турбулентной диффузии D и требуется идентификация этого коэффициента по дополнительно заданному условию на правом конце аппарата

$$C(l,t) = r(t). \quad (5)$$

Таким образом, задача заключается в определении функции $C(x,t)$ и коэффициента D , удовлетворяющих уравнению (1) и условиям (2)–(5). Поставленная задача (1)–(5) относится к классу коэффициентных обратных задач [3; 4].

Построен дискретный аналог поставленной обратной задачи с помощью метода конечных разностей с использованием явно-неявной аппроксимации по времени. Для численного решения полученной разностной задачи предлагается безытерационный вычислительный алгоритм, основанный на сведении разностной задачи к двум линейным разностным задачам второго порядка и линейному уравнению относительно искомого коэффициента турбулентной диффузии.

Для проверки эффективности предложенного численного метода были проведены численные расчеты для модельных задач.

Литература

1. *Кафаров В.В., Глебов М.Б.* Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: Высшая школа, 1991.
2. *Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Митянина О.Е., Кузьменко Е.А.* Математическое моделирование химико-технологических процессов. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2014.
3. *Самарский А.А., Вабищевич П.Н.* Численные методы решения обратных задач математической физики. – М.: Изд-во ЛКИ, 2009.

4. *Гамзаев Х.М.* Численный метод решения коэффициентной обратной задачи для уравнения диффузии–конвекции–реакции // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2017. – № 50. – С. 67–78.

С.М. Бородич

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

О ПОВЕДЕНИИ ПРИ $t \rightarrow +\infty$ РЕШЕНИЙ ОДНОГО НЕАВТНОМНОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Пусть Ω – ограниченная область в \mathbf{R}^n ($n \geq 1$) с гладкой границей $\partial\Omega$. Рассматривается неавтономное параболическое уравнение

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

с граничным условием

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

где

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

$$g(x, t) \in L_\infty([0, +\infty); L_2(\Omega)).$$

Предполагаем, что выполнены условия

$$a(t) \geq \alpha > 0, \quad \lim_{t \rightarrow +\infty} a(t) = \tilde{a} \quad (\tilde{a} < +\infty),$$

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} f(u, t) = \tilde{f}(u), \quad \tilde{f}(u) \in C^1(\mathbf{R}),$$

$$C_0 |u|^p - C \leq f(u, t)u \leq C(|u|^p + 1),$$

$$p > 2, \quad C_0 > 0, \quad f'_u(u, t) \geq -C, \quad \tilde{f}'(u) \geq -C,$$

$$|f(u, t) - \tilde{f}(u)| \leq k(t)(|u|^{p-1} + 1), \quad k(t) \in C([0, +\infty)), \quad \lim_{t \rightarrow +\infty} k(t) = 0,$$

$$|g(x, t)| \leq h(x), \quad h(x) \in L_2(\Omega), \quad \lim_{t \rightarrow +\infty} g(x, t) = \tilde{g}(x).$$

Стандартными методами (см. [1]) устанавливается, что задача (1), (2) порождает в пространстве $E = L_2(\Omega)$ семейство эволюционных операторов $\{S_{t,\tau}, t \geq \tau \geq 0\}$:

$$S_{t,\tau} : u_0 \rightarrow u(t),$$

где $u_0 \in E$, $u(t)$ – решение задачи (1), (2) с начальным условием $u|_{t=\tau} = u_0$.

Для любых непустых множеств $X, Y \subset E$ положим $dist(X, Y) = \sup_{x \in X} \inf_{y \in Y} \|x - y\|$ ($\|\cdot\|$ – норма в E).

Максимальным аттрактором семейства $\{S_{t,\tau}\}$ называем такое компактное в E множество \mathcal{A} , которое притягивает при $t \rightarrow +\infty$ траекторию $S_{t,0}B$ любого ограниченного в E множества B (т. е. $dist(S_{t,0}B, \mathcal{A}) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow +\infty$) и содержится в любом другом компактном множестве, обладающем таким же свойством притяжения.

Автономное уравнение

$$\partial_t v = \tilde{a}\Delta v - \tilde{f}(v) - \tilde{g}(x), \quad x \in \Omega, \quad t > 0, \quad (3)$$

с граничным условием

$$v|_{x \in \partial\Omega} = 0 \quad (4)$$

порождает в E полугруппу операторов $\{S_t, t \geq 0\}$:

$$S_t : v_0 \rightarrow v(t),$$

где $v_0 \in E$, $v(t)$ – решение задачи (3), (4) с начальным условием $v|_{t=0} = v_0$.

Предположим, что полугруппа $\{S_t\}$ имеет конечное множество стационарных точек $\{z_1, \dots, z_N\}$. Обозначим через $M^H(z_i)$ ($i=1, \dots, N$) совокупность всех точек пространства E , через которые проходят траектории $v(t) = S_t v_0$, продолжаемые для всех $t \leq 0$ и удовлетворяющие условию: $v(t) \rightarrow z_i$ в E при $t \rightarrow -\infty$.

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

$$1) \mathcal{A} \subset \bigcup_{i=1}^N M^H(z_i);$$

2) множество \mathcal{A} строго инвариантно относительно операторов полугруппы $\{S_t\}$, т. е. $S_t\mathcal{A} = \mathcal{A} \quad \forall t \geq 0$.

Литература

1. *Лионс Ж.-Л.* Некоторые методы решения нелинейных краевых задач. – М.: Мир, 1972.

Т.В. Кавитова, А.А. Молчанова

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

ПОВЕДЕНИЕ РЕШЕНИЙ НЕЛИНЕЙНЫХ ПСЕВДОПАРАБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ПРИ $|x| \rightarrow \infty$

Рассмотрим задачу Коши для нелинейного псевдопараболического уравнения

$$u_t = \Delta u_t + \Delta \varphi(u) + h(t, u), \quad x \in R^n, \quad t > 0, \quad (1)$$

с начальным условием

$$u(x, 0) = u_0(x), \quad x \in R^n, \quad (2)$$

где Δ – оператор Лапласа по переменным $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $n = 1, 2, \dots$

Относительно функций φ и h сделаем следующие предположения:

$$\varphi(p) \in C^2([0, +\infty)), \quad h(t, p) \in C^{0,1}([0, +\infty) \times [0, +\infty));$$

$$h(t, 0) = 0 \quad \text{для любого } t \in [0, +\infty);$$

$h(t, p)$ не возрастает по переменной p для любого $t \in [0, +\infty)$;

$\varphi(p) + h(t, p)$ не убывает по переменной p для любого $t \in [0, +\infty)$.

Относительно начальной функции $u_0(x)$ предположим, что

$$u_0(x) \in C^2(R^n), \quad 0 \leq u_0(x) \leq M, \quad \lim_{|x| \rightarrow \infty} u_0(x) = M.$$

Пусть $g(t)$ – решение вспомогательной задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения

$$g'(t) = h(t, g), \quad g(0) = M, \quad (3)$$

определенное на промежутке $[0, T_0)$.

В работе [1] установлено существование решения задачи Коши (1), (2) в слое $R^n \times [0, T]$ при любом $T \in (0, T_0)$.

Справедлива теорема.

Теорема. Пусть $u(x, t)$ и $g(t)$ – решения задач (1), (2) и (3) соответственно. Тогда равномерно по $t \in [0, T]$ ($T < T_0$)

$$u(x, t) \rightarrow g(t) \text{ при } |x| \rightarrow \infty.$$

Отметим, что асимптотическое поведение решения $u(x, t)$ задачи (1), (2) в случае $h(t, p) \geq 0$, $t \in [0, +\infty)$, $p \in [0, +\infty)$, было исследовано в [2].

Литература

1. *Кавитова Т.В.* Существование решения задачи Коши для псевдопараболического уравнения // Весн. Віцебск. дзярж. ун-та. – 2011. – № 3 (63). – С. 14–19.
2. *Kavitova T.V.* Behavior of the maximal solution of the Cauchy problem for some nonlinear pseudoparabolic equation as $|x| \rightarrow \infty$ // Electron. J. Differ. Equ. – 2012. – Vol. 2012, No. 141. – P. 1–12.

Yu.A. Shpakova, M.N. Podoksenov

*Vitebsk State University named after P.M. Masharov,
Vitebsk, Belarus*

SELF-SIMILAR LIE ALGEBRA $\mathcal{E}(2) \oplus \mathcal{R}$

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 call a Lie algebra self-similar if it admits a one-parameter autosimilarity group that is not an isometry group.

The problem of constructing self-similar homogeneous manifolds of a Lie group G endowed with a left-invariant Lorentzian metric g , initially involves solving the problem of finding such an inner product on a given Lie algebra for which it is self-similar [1].

In this paper, we consider the direct sum $\mathcal{G}_4 = \mathcal{E}(2) \oplus \mathcal{R}$, where $\mathcal{E}(2)$ – is the three-dimensional Lie algebra, of the group $E(2)$ of motions of the Euclidean plane. It was proved in [2] that the Lie algebra $\mathcal{E}(2)$ does not admit autosimilarity for any way of specifying the Lorentz scalar product on it.

In a suitable basis (E_1, E_2, E_3, E_4) in \mathcal{G}_4 the bracket operation is given by the equalities $[E_1, E_2] = E_3$, $[E_1, E_3] = -E_2$, and the other brackets are equal to the zero vector. Such a basis will be called canonical. The Lie algebra \mathcal{G}_4 contains the three-dimensional commutative ideal $\mathcal{H} = \langle E_2, E_3, E_4 \rangle$, the one-dimensional center $\mathbf{R}E_4$, and the derived Lie algebra is two-dimensional: $\mathcal{G}_4^{(2)} = \mathcal{L} = \langle E_2, E_3 \rangle$. The vector E_1 acts on \mathcal{H} via the transformation $\text{ad}(E_1)$, and the kernel of this transformation is $\mathbf{R}E_4$.

In [3], a complete group of automorphisms of the considered Lie algebra was found and it was proved that it cannot be self-similar for any way of specifying a Euclidean scalar product on it. The purpose of this paper is to show that there is one and only one (up to

isometry) way of specifying a Lorentz inner product on \mathcal{G}_4 such that this Lie algebra is self-similar.

Theorem. *The Lie algebra $\mathcal{G}_4 = \mathfrak{E}(2) \oplus \mathcal{R}$ is self-similar if and only if there exists a canonical basis with respect to which the Lorentz inner product is given by the Gram matrix:*

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

In this case, the given Lie algebra admits a one-parameter similarity group whose action in the canonical basis is given by the matrix

$$F(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{vt} \cos \varepsilon t & -e^{vt} \sin \varepsilon t & 0 \\ 0 & e^{vt} \sin \varepsilon t & e^{vt} \cos \varepsilon t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{2vt} \end{pmatrix}, \quad v > 0, t \in \mathbf{R}, \quad (2)$$

where ε can take one of two values: 1 or 0.

Proof. Assume that a Lorentz scalar product is given in the Lie algebra \mathcal{G}_4 such, that a nondegenerate scalar product is induced on \mathcal{H} . Under the autosimilarity $F: \mathcal{G}_4 \rightarrow \mathcal{G}_4$ the ideal \mathcal{H} and its orthogonal complement must remain invariant. We can choose $E_1 \in \mathcal{H}^\perp$, so that the bracket operation won't change. If the similarity is not isometry, then $E_1' = F(E_1) = \alpha E_1$, $|\alpha| \neq 1$, and $\text{ad}(E_1) = |\alpha| \cdot \text{ad}(E_1)$. This means that the given transformation cannot be an automorphism.

Suppose now that a degenerate scalar product is induced on \mathcal{H} . The only isotropic direction in \mathcal{H} must remain invariant under any similarity. We can prove that the vector E_4 must belong to this direction. Thus a positive-definite scalar product is induced on the ideal \mathcal{L} . Denote $\mathcal{P} = \mathcal{H}^\perp$, $\dim \mathcal{P} = 2$. The Lorentz scalar product is induced in \mathcal{P} . It contains two isotropic directions, one of which is $\mathbf{R}E_4$ (figure 1).

Without changing the bracket operation, we can choose E_1 belonging to the second direction, and then multiply this vector by such a number that the new vector (we keep the same notation for it) will have the property $E_4 \cdot E_1 = 1$. The vectors E_2, E_3 can be chosen in the

ideal \mathcal{L} to be unit and orthogonal. As a result, we obtain the Gram matrix (1).

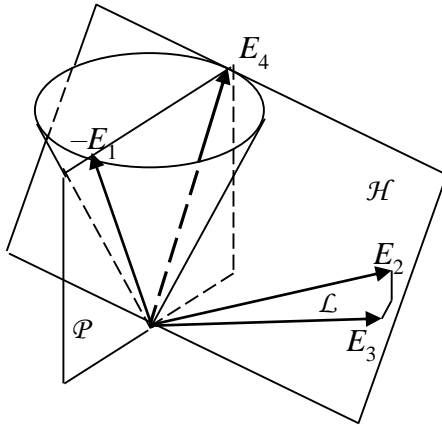


Figure 1

It is easy to see that the transformations that act according to formulas (2) are similarities and form a one-parameter group. ■

Having formulas (1) and (2), we can construct a homogeneous self-similar manifold of the Lie group $E(2) \times \mathbf{R}^+$ equipped with a left-invariant Lorentzian metric.

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.
3. Podoksenov M.N., Gorovaya Y.V. Automorphisms and autometries of one four-dimensional Lie algebra of the Bianchi VI_2 subtype // Mathematical and computer modeling: collection of materials of the IX International scientific conference dedicated to the 85th anniversary of Professor V.I. Potapov (Omsk, November 19, 2021). – Omsk: Publishing House of Omsk State University, 2021. – P. 24–26.

О.А. Велько, М.В. Мартон

*Белорусский государственный университет,
г. Минск, Беларусь*

ИНТЕГРАЦИОННЫЕ СВЯЗИ ОСНОВ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Современная математика и основы информационных технологий бесспорно являются важнейшей частью мировой интеллектуальной культуры. Становление и развитие сегодняшнего информационного общества, характеризующегося высоким уровнем информационных технологий, развитыми инфраструктурами, обеспечивающими возможности доступа и переработки информации, процессами ускоренной автоматизации всех отраслей производства, усилили роль интеллектуального математического образования в профессиональной деятельности [1, с. 10]. В настоящее время основы высшей математики и информационных технологий все глубже проникают во все сферы деятельности человека. Математические идеи и методы применяются в лингвистике, психологии, социологии, политологии, юриспруденции и различных исторических исследованиях и других гуманитарных направлениях знания. Большинство из перечисленных дисциплин являются профильными для студентов социально-гуманитарных профилей. Поэтому без качественной математической подготовки и без понимания и усвоения информационных технологий невозможно сформировать современное мировоззрение будущего интеллектуального специалиста-гуманитария.

Современное профессиональное образование невозможно представить без применения в процессе обучения компьютерных технологий. Будущий специалист должен овладеть методикой постановки и способом решения задач на компьютере, использовать его в качестве инструмента познания и организации поисковой и исследовательской деятельности. В условиях быстро разви-

вающегося процесса информатизации общества появились новые возможности использования компьютерных технологий в обучении основ математике. Но зачастую преподавание информационных технологий ведется в отрыве от преподавания математики [2, с. 246]. Подобная ситуация не соответствует реальным взаимосвязям между этими дисциплинами. Математика и информатика неразделимы, и правильная организация учебного процесса существенно повышает эффективность изучения и понимания каждой из дисциплины. Информационные технологии в теоретической ее части «выросли» из основ математики и активно используют ее аппарат.

Математическое образование в настоящее время получают студенты разных социально-гуманитарных специальностей. Часть сегодняшних студентов уже завтра будут передавать знания следующим поколениям или участвовать в развитии науки и культуры. Это и является главным основанием для серьезного беспокойства за качество современного математического обучения студентов-гуманитариев [3, с. 31]. Обучение математике и основ информационных технологий на гуманитарных и естественнонаучных факультетах Белорусского государственного университета отличается не только объектом, глубиной и целью изучаемой науки, но и самой методикой преподавания математики. Сосредоточив свое внимание на некоторых избранных вопросах, касающихся методики преподавания математики и информатики на социально-гуманитарных факультетах. Для этого выделим наиболее существенные особенности студентов гуманитарных факультетов, уже проанализированные в литературе:

- у студентов-гуманитариев отсутствует психологическая готовность к изучению и пониманию курса математики и информатики;

- недостаточное развитие абстрактного мышления.

С первых дней обучения в вузе студент-гуманитарий на занятиях по интегрированным курсам «математики и информатики» начинает осознавать всю сложность своего положения из-за того, что:

- он имеет недостаточный уровень школьной подготовки (довольно часто такие студенты ориентируются на изучение гуманитарных предметов);

- на учебных занятиях его окружают однокурсники с различным уровнем подготовки (от выпускников специализированных городских школ, гимназий, лицеев с «высоким» уровнем знаний до выпускников сельских школ с «низким» уровнем знаний);

- количество аудиторных занятий по курсу «Основы высшей математики и информатики» мало, а объем учебного материала хоть и невелик, но и немал! Справиться студенту-гуманитарию с ним трудно и сложно, а это «угнетает» будущего специалиста гуманитарного направления;

- отсутствуют навыки самостоятельной работы (возникают вопросы-высказывания: с чего начать решение задачи, где посмотреть решения задач, я не знаю, я не понимаю, я «не люблю математику» и самое часто встречающееся высказывание – Я не математик, я – ГУМАНИТАРИЙ).

Особое значение для продуктивности обучения по интегрированному курсу «математики и информатики» для студентов-гуманитариев имеет мотивация учения и интерес к изучаемому предмету. Формированию интереса к данному курсу, на наш взгляд, способствует реализация следующего комплекса следующих условий:

- важно качество, а не количество материала по изучаемому курсу;

- изложение теоретического и практического материала курса должно строиться с использованием понятий «близких» к специализации студентов;

- опираться на наглядные модели, стимулирующие процесс за счет быстрого и эффективного усвоения знаний и формирование умений и навыков;

- каждое новое понятие должно встречаться в ходе изложения материала неоднократно (это даст возможность показать наличие внутренних связей между различными разделами курса и будет способствовать лучшему усвоению материала);

- важно грамотно и рационально подобрать разделы высшей математики и информатики для обучения студентов-гуманитариев.

В результате интеграции Основ высшей математики и Информационных технологий эти дисциплины будут наполнены но-

вым содержанием для обучения студентов социально-гуманитарных специальностей моделированию реальных задач, решение которых предполагает использование метода моделирования реальных процессов, явлений и объектов на компьютере. Таким образом, будет обеспечена качественная подготовка не только по математике и информатике, но и высокопрофессиональных, конкурентоспособных специалистов, востребованных на рынке труда. Образованный человек не станет свалкой бесполезной, бессмысленной и не связанной между собой рекламно-клиповой информацией, а опираясь на понимаемую математику и выработанные информационный навыки, сможет сам выявлять нужное и полезное для интеллектуальной деятельности. Из известной максимумы «Счастье любви в том, чтобы любить», мы можем сказать, что «достоинство хорошего образования в том, чтобы получить удовольствие и радость от образования».

Литература

1. *Шершнева, В.А., Карнаухова О.А., Сафонов К.В.* Математика и информатика в вузе: взгляд из будущего // Высшее образование сегодня. – 2008. – № 1. – С. 10–12.
2. *Кукушкина Е.В., Кукушкин В.А.* Информатика и математика в вузе: об интеграции и дифференциальном подходе в обучении // Математика, ее приложения и математическое образование (МПМО-11): материалы IV Междун. конф. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2011. – Ч. 2. – 300 с.
3. *Ерovenko В.А., Мартон М.В.* Альтернативное позитивирование математического образования философов: классический университетский стандарт // Проблемы онто-гносеологического обоснования математических и естественных наук: сборник статей. – Курск: КГУ, 2009. – Вып. 2. – С. 31–42.

О.А. Велько

*Белорусский государственный университет,
г. Минск, Беларусь*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ СТУДЕНТОВ СОЦИОЛОГОВ

В последнее время социология становится всё более востребованной, поскольку является инструментом изучения общества. Заметим, что в основе решения многих прикладных социологических задач лежит математическое моделирование. Используем знаменитое изречение У. Томсона: «Понять процесс – значит построить его модель».

В связи с вышесказанным, одним из аспектов профессиональной подготовки студентов социологов является формирование знаний и умений по использованию метода математического моделирования. Типовая программа по дисциплине «Основы высшей математики» для специальности Социология [1] содержит несколько важнейших разделов, охватывающих основные направления применения математических методов в социологии. В частности раздел «Основы математического моделирования в социологии» включает в себя такие темы как «Моделирование социальных процессов с помощью бинарных отношений», «Математические модели в экономике и социологии в виде систем линейных алгебраических уравнений», «Моделирование социальных процессов с помощью графов».

Студенты изучают различные математические модели социальных процессов и явлений, строят математические модели в экономике и социологии в виде систем линейных уравнений. Рассматривается задача моделирования человеческого поведения, которая в ее сегодняшнем представлении, отражает в себе основные проблемные моменты, сложившиеся в философии, психологии, социологии, кибернетике и в прочих науках. Очевидно, что

вопросы, поднятые в ней, имеют фундаментальное значение как для познания человеком окружающего мира, так и самого себя.

Приведём некоторые примеры. Рассматривается задача моделирования человеческого поведения, которая в ее сегодняшнем представлении, отражает в себе основные проблемные моменты, сложившиеся в философии, психологии, социологии, кибернетике и в прочих науках. Изучаются модели динамики групповых структур человеческих сообществ. Строится математическая модель конфликтной ситуации. В курсе также можно продемонстрировать пример алгебраического подхода к развитию социума: моделируется эволюция воспроизводственных процессов в архаичных обществах [2, с. 292]. Это позволяет наглядно оценить проблемные ситуации, как прошлого, так и настоящего, например, возникновение «эволюционных тупиков».

Математические модели используются и в социально-экономической сфере, например, при исследовании межотраслевого баланса производства, в виде систем линейных алгебраических уравнений. Модель Леонтьева можно использовать для выяснения вопроса, каким должен быть объем производства, чтобы удовлетворить величину данного конечного спроса.

Отметим, что графы также являются инструментом моделирования социальных процессов и отношений. Например, неориентированные графы могут быть использованы для изображения симметричных (двусторонних) отношений между объектами, например, отношения сотрудничества или дружбы между людьми. В последнее время широко используется 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 [3, с. 18]. Таким образом, 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. Ориентированные графы удобны для изображения несимметричных отношений. Например, любви, зависти, заботы, подчиненности. Древоподобным графом может быть описана любая

строго иерархическая система. Например, модель управления предприятием, система административной подчиненности.

Бинарные отношения, т. е. отношения между двумя элементами какого-либо множества являются основным инструментом для моделирования и исследования социальных отношений. Рассматриваются такие бинарные отношения, как «быть одноклассником», «быть родственником», «быть старше». Студенты учатся самостоятельно моделировать социальные процессы с помощью бинарных отношений.

Таким образом, применение социологами методов математического моделирования при анализе современного общества и социальной реальности способствует более успешному формированию профессиональной компетентности, умению задействовать межпредметные связи [4, с. 60]. Многообразии 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. *Ерошенко В.А.* Основы высшей математики: типовая учебная программа для высших учебных заведений по специальности 1-23 01 05 «Социология». – URL: https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/218164/1/ТП_основы_высш_матем.pdf.
2. *Велько О.А.* Основы высшей математики для социологов: учебно-методическое пособие. – Минск: БГУ, 2020. – 303 с.
3. *Велько О.А.* Эвристическое занятие «Графы как инструмент моделирования процессов природы и общества» // Матэматыка. – 2020. – № 6. – С. 12–20.
4. *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.

М.В. Мартон

*Белорусский государственный университет,
г. Минск, Беларусь*

СВЯЗЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МАТЕМАТИКИ В УНИВЕРСИТЕТСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ГЕОГРАФОВ

Математическую подготовку и знания по информационным технологиям студентов географических специальностей можно определить, как педагогический процесс формирования инновационной профессионально ориентированной общематематической подготовки будущих географов, который позволит им не только изучать свои профильные дисциплины, но и даст определенные навыки и умения для решения задач в профессиональной деятельности. Не преувеличивая значение математики и информационных технологий в инновационном развитии географии, хочется надеяться, что студенты, желающие связать свою дальнейшую деятельность с географией, понимают необходимость получения востребованных в их профессии математических знаний для развития своего математического и профессионального мышления, наряду с глубоким и всесторонним пониманием проблем развития сегодняшней географии.

Без качественной математической подготовки, без понимания и усвоения информационных технологий невозможно сформировать современное мировоззрение будущего интеллектуального специалиста любой специальности. Никто не будет отрицать, что развитие современного информационного общества, характеризуется высоким уровнем информационных технологий, развитыми инфраструктурами. Сегодня уже появились новые возможности использования компьютерных технологий в обучении основ математике будущих географов. Современная математика и информационные технологии неразделимы, и правильная органи-

зация учебного процесса существенно повышает эффективность изучения и понимания каждой из дисциплины [1, с. 253].

Отметим, курс «Высшая математика с основами информатики» для студентов-географов Белорусского государственного университета появился в результате объединения курсов: «Высшая математика» и «Основы информатики», которые читались ранее на факультете, до перехода на 4-летний срок обучения. Сейчас необходимо большое внимание уделять методам моделирования природных и социальных процессов. Ведь именно рассмотрение прикладных задач демонстрирует студентам востребованность математических объектов в их специальности, закладывает первые навыки построения математических моделей и воспитывает специалиста, который бы не избегал простейшей математической интерпретации своих данных и не смотрел на математику как на средство, годное разве лишь для вычислений.

Много внимания мы уделяем дифференциальному моделированию, так как многие процессы, протекающие в природных и природно-хозяйственных системах, могут быть описаны с помощью дифференциальных уравнений, которые используются в геоморфологии при изучении склоновых процессов, в динамической метеорологии, экологии. Однако не все эти уравнения могут быть рассмотрены на занятиях, так как представляют значительную сложность для студентов. Преподаватель сам выбирает подходящие задачи и после соответствующей методической обработки предлагает их студентам. Среди таких задач – задача о росте населения, динамическая модель осыпного склона, описываемая системой обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка.

Практические задания по информационным технологиям вместе с теоретической частью студенты получают в электронном виде на лабораторных занятиях и реализуют их с помощью табличного процессора Excel. Как пишет профессор Зимина О.В. «...в компьютеризированном обществе цели обучения должны определяться как по отношению к студенту, так и к программному обеспечению его компьютера, а так же к умению студента использовать компьютер для выполнения учебных и учебно-исследовательских работ. Таким образом возникает новый объект обучения – тандем «студент + компьютер».

В рамках реализации принципа профессиональной направленности преподавания дисциплин математического цикла на факультете географии и геоинформатики БГУ преподаватели кафедры общей математики и информатики предлагают студентам ряд практических задач, включающих данные географических и геологических исследований, для составления математических моделей и последующего решения при помощи компьютера. В заключение рассмотрим несколько конкретных примеров [2, с. 154].

Задача 1. *В рудах одного из полиметаллических месторождений присутствует золото, которое рассматривается как сопутствующий компонент. На одном из участков месторождения обнаружено, что корреляционная связь между концентрациями золота и свинца в рудах проявляется только при содержании свинца ниже 1,5 %, для богатых руд она практически отсутствует, а руды среднего качества характеризуются обратной корреляционной связью. Для подтверждения этой гипотезы и распространения её на закономерности формирования всего месторождения необходимо провести анализ результатов опробования руд соседнего неизученного участка месторождения.*

Требуется:

1) определить наличие корреляционной связи между золотом и свинцом в рудах на неизученном участке месторождения по выборочным данным;

2) при наличии корреляционной связи рассчитать уравнение зависимости содержания золота от свинца в рудах.

Для решения данной задачи используется инструмент “регрессия” пакета анализа MS Excel.

Задача 2. *Построить двумерную поверхность (Аризонский кратер (каньон Дьявола), США, штат Аризона), заданную формулой, где x от -2 до 2 , y от -2 до 2 и*

$$f(x, y) = 1 - |x^2 + y^2 - 2|$$

$$z = \begin{cases} f(x, y), & f(x, y) \geq 0; \\ 0, & f(x, y) < 0. \end{cases}$$

Литература

1. *Мартон М.В.* Интеграция математики и информатики для студентов гуманитарных направлений // Методология и фил. преп. матем. и инф-ки: к 50-летию основания кафедры ОМиМ БГУ: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24–24 апреля 2015г. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2015. – С. 252–255.
2. *Мартон М.В., Матейко О.М.* Курс «Высшая математика и информатика» для студентов географических специальностей // Математическое образование: современное состояние и перспективы: материалы междунар. науч. конф., Могилев, 20–21 февраля 2019 г. – Могилев: МГУ им. А.А. Кулешова, 2019. – С. 152–155.
3. *Мартон М.В.* Высшая математика и информатика для будущих специалистов географических специальностей // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов VIII Междунар. науч. конф. (Омск, 20 ноября 2020 г.). – Омск: Изд-во Омю гос. ун-та, 2020. – С. 43–45.

Ю.В. Трубников, М.М. Чернявский

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

СВОЙСТВА СТРУКТУР ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ОТ РЕЗУЛЬТАНТА МНОГОЧЛЕНА СО СВОЕЙ ПРОИЗВОДНОЙ ПРИ НАЛИЧИИ КРАТНЫХ КОРНЕЙ

В классических и современных книгах, посвященных алгебре полиномов и способам отыскания нулей алгебраических полиномов, почти не уделяется внимание нахождению кратных корней полиномов в символьном виде. Там же практически отсутствуют явные аналитические формулы, выражающие значения кратного корня через коэффициенты. Основной трудностью для развития данного направления являлась высокая трудоемкость ручных вычислений. В XXI веке ситуация принципиально изменилась в связи с развитием систем компьютерной математики.

Основным исследуемым объектом в настоящей работе являются частные производные второго порядка от результата двух многочленов комплексного аргумента, одним из которых является многочлен, имеющий кратный корень, а вторым – производная от этого многочлена. В работе авторов [1] рассмотрена идея получения семейств точных формул для кратных корней в виде рациональных функций от коэффициентов полинома, в основе которой лежит анализ частных производных от упоминаемого результата по коэффициентам второго многочлена.

Напомним, что одним из определений результата двух многочленов комплексного аргумента $f(z) = a_0 \prod_{i=1}^n (z - \alpha_i)$ и

$g(z) = b_0 \prod_{j=1}^m (z - \beta_j)$ является произведение [2, с. 336]:

$$\begin{aligned}
R &= a_0^m g(\alpha_1) g(\alpha_2) \cdot \dots \cdot g(\alpha_n) = \\
&= (-1)^{mm} b_0^n f(\beta_1) f(\beta_2) \cdot \dots \cdot f(\beta_m). \quad (1)
\end{aligned}$$

Пусть $f(z) = z^n + a_1 z^{n-1} + \dots + a_{n-1} z + a_n$, а $g(z) = f'(z)$ – его производная.

Рассмотрим результат (1) многочлена с первой производной в виде

$$R = g_1 g_2 \cdot \dots \cdot g_{n-1} g_n = g_1 g_2 \cdot \prod_{i=3}^n g_i,$$

где $g_i \equiv b_0 z_i^{n-1} + b_1 z_i^{n-2} + \dots + b_{n-2} z_i + b_{n-1} = \sum_{j=0}^{n-1} b_j z_i^{n-1-j}$ – значение

производной на i -м корне многочлена. Тогда $\frac{\partial g_i}{\partial b_j} = z_i^{n-1-j}$

($j=0, 1, \dots, n-1$). Запишем семейство производных первого порядка ($j=0, 1, \dots, n-1$) от результата.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial R}{\partial b_j} &= \frac{\partial}{\partial b_j} (g_1 g_2) \cdot \prod_{i=3}^n g_i + g_1 g_2 \frac{\partial}{\partial b_j} \prod_{i=3}^n g_i = \\
&= (z_1^{n-1-j} g_2 + z_2^{n-1-j} g_1) \cdot \prod_{m=3}^n g_m + g_1 g_2 \frac{\partial}{\partial b_j} \prod_{i=3}^n g_i.
\end{aligned}$$

В случае единственного кратного корня $z_1 = z_2 = w$, $g_1 = g_2 = 0$ как значение производной на кратном корне, а $g_m \neq 0$ ($m=3, 4, \dots, n$). Видим, что все частные производные первого порядка по коэффициентам b_j равны нулю.

Вычислим вторые производные:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2 R}{\partial b_j \partial b_k} &= \frac{\partial}{\partial b_k} \left(\frac{\partial R}{\partial b_j} \right) = \frac{\partial}{\partial b_k} (z_1^{n-1-j} g_2 + z_2^{n-1-j} g_1) \cdot \prod_{m=3}^n g_m + \\
&+ (z_1^{n-1-j} g_2 + z_2^{n-1-j} g_1) \frac{\partial}{\partial b_k} \prod_{m=3}^n g_m + \frac{\partial}{\partial b_k} (g_1 g_2) \cdot \frac{\partial}{\partial b_j} \prod_{m=3}^n g_m + \\
&+ g_1 g_2 \cdot \frac{\partial^2}{\partial b_j \partial b_k} \prod_{m=3}^n g_m = (z_1^{n-1-j} z_2^{n-1-k} + z_2^{n-1-j} z_1^{n-1-k}) \prod_{m=3}^n g_m +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (z_1^{n-1-j} g_2 + z_2^{n-1-j} g_1) \cdot \frac{\partial}{\partial b_k} \prod_{m=3}^n g_m + \\
& + (z_1^{n-1-k} g_2 + z_2^{n-1-k} g_1) \cdot \frac{\partial}{\partial b_j} \prod_{m=3}^n g_m + g_1 g_2 \cdot \frac{\partial^2}{\partial b_j \partial b_k} \prod_{m=3}^n g_m.
\end{aligned}$$

Подставим в последнее выражение $z_1 = z_2 = w$, $g_1 = g_2 = 0$. Тогда все слагаемые, кроме первого, равны нулю. В итоге

$$\frac{\partial^2 R}{\partial b_j \partial b_k} = 2w^{2(n-1)-(j+k)} \prod_{m=3}^n g_m \quad (j, k = 0, 1, \dots, n-1).$$

Для удобства восприятия этот результат удобно представить в виде матрицы из вторых частных производных. Например, пусть $f(z) = (z-w)^2(z-z_3)$, $g(z) = b_0 z^2 + b_1 z + b_2$. Тогда

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial^2 R}{\partial b_0^2} & \frac{\partial^2 R}{\partial b_0 \partial b_1} & \frac{\partial^2 R}{\partial b_0 \partial b_2} \\ \frac{\partial^2 R}{\partial b_1 \partial b_0} & \frac{\partial^2 R}{\partial b_1^2} & \frac{\partial^2 R}{\partial b_1 \partial b_2} \\ \frac{\partial^2 R}{\partial b_2 \partial b_0} & \frac{\partial^2 R}{\partial b_2 \partial b_1} & \frac{\partial^2 R}{\partial b_2^2} \end{pmatrix} = 2g_3 \begin{pmatrix} w^4 & w^3 & w^2 \\ w^3 & w^2 & w \\ w^2 & w & 1 \end{pmatrix}.$$

Литература

1. Чернявский М.М., Трубников Ю.В. Модификация формул Эйткена и алгоритмы аналитического нахождения кратных корней полиномов // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. – 2021. – № 1 (110). – С. 13–25.
2. Курош А.Г. Курс высшей алгебры. – СПб.: Лань, 2013.

В.П. Голубятников

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

ИНВАРИАНТНЫЕ СЛОЕНИЯ В МОДЕЛЯХ ГЕННЫХ СЕТЕЙ

Мы изучаем блочно-линейную динамическую систему размерности 4, моделирующую функционирование одной генной сети кольцевого типа, рассмотренной в [1] в частном случае $k_m = 1$, здесь и ниже $m=1,2,3,4$.

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= k_1(L(x_4) - x_1); & \frac{dx_2}{dt} &= k_2(\Gamma_2(x_1) - x_2); \\ \frac{dx_3}{dt} &= k_3(\Gamma_3(x_2) - x_3); & \frac{dx_4}{dt} &= k_4(\Gamma_4(x_3) - x_4). \end{aligned} \quad (1)$$

Искомые функции $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, $x_4(t)$, в этой системе описывают (неотрицательные) концентрации компонент генной сети. Монотонно возрастающие ступенчатые функции $\Gamma_j, j = 2, 3, 4$, описывают положительные связи, а монотонно убывающая функция L соответствуют отрицательной связи.

$$\begin{aligned} L(z) &= k_1 a_1 \text{ при } 0 \leq z \leq 1; & L(z) &= 0 \text{ при } 1 < z; \\ \Gamma_j(z) &= 0 \text{ при } 0 \leq z \leq 1; & \Gamma_j(z) &= k_j a_j \text{ при } 1 < z. \end{aligned}$$

Будем рассматривать случай, когда $a_m > 1$. Физический смысл этого условия состоит в том, что максимальные скорости синтеза всех компонент генной сети выше, чем скорости их разложения. В случае, когда $a_m \leq 1$ хотя бы для какого-нибудь номера m , системы вида (1) циклов не имеют, см. [2].

В фазовом портрете системы (1) построена инвариантная область $Q^4 = [0, a_1] \times [0, a_2] \times [0, a_3] \times [0, a_4]$. Доказательство её инвариантности аналогично рассуждениям, приведенным в [2; 3]. Плоскости $x_m = 1$ разбивают область Q^4 на 16 блоков. Занумеруем их бинарными мульти-индексами: блок $\{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 \varepsilon_4\} \subset Q^4$ задается неравенствами $0 \leq x_m \leq 1$ при $\varepsilon_m = 0$, и неравенством

$1 < x_m \leq a_m$ при $\varepsilon_m = 1$. Обозначим через W_1 объединение восьми блоков

$$\{0000\} \cup \{1000\} \cup \{1100\} \cup \{1110\} \cup \{1111\} \cup \\ \cup \{0111\} \cup \{0011\} \cup \{0001\}.$$

В работе [3] показано, что если $a_m > 1$, то область W_1 инвариантна относительно положительных сдвигов вдоль траекторий системы (1) и содержит в точности один цикл S системы (1), этот цикл экспоненциально устойчив и проходит по перечисленным блокам согласно стрелкам диаграммы

$$\{0000\} \rightarrow \{1000\} \rightarrow \{1100\} \rightarrow \{1110\} \rightarrow \dots \rightarrow \{0011\} \rightarrow \\ \rightarrow \{0001\} \rightarrow \{0000\}. \quad (2)$$

Здесь для краткости пропущены два блока $\{1111\} \rightarrow \rightarrow \{0111\}$. Композиция P указанных отображений из грани $F_0 = \{0000\} \cap \{1000\}$ в себя является отображением Пуанкаре цикла S . Там же в [3] было установлено, что отображение P имеет в точности две неподвижные точки – точку $E = (1, 1, 1, 1)$, через которую проходят все плоскости $x_m = 1$, и остающуюся на месте при всех отображениях, указанных в диаграмме (2), и ещё одну точку P , через которую проходит цикл S . Все элементы матрицы Якоби $J(P)$ отображения P положительны, что позволяет использовать в наших рассуждениях теоремы Фробениуса–Перрона.

Из результатов работы [4] следует, что если в точке E эта матрица не имеет собственных чисел, по модулю равных единице, то в окрестности точки E с помощью, вообще говоря, непрерывной замены переменных отображение P можно линеаризовать. Такие неподвижные точки в литературе обычно называются гиперболическими, [5]. Аналогичным образом это отображение линеаризуется и в окрестности неподвижной точки P , отметим, что в этой точке все собственные числа матрицы $J(P)$ по модулю строго меньше единицы.

Теорема. *Если неподвижная точка E отображения P является гиперболической, то в области W_1 существует инвариантное слоение с особенностью. Все слои этого слоения проходят через цикл S ; один из этих слоёв содержит точку E .*

Эти построения и результаты можно перенести и на широкий класс блочно-линейных динамических систем других размерностей, рассмотренных в [2; 6–8] при анализе математических моделей других генных сетей.

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. *Голубятников В.П., Иванов В.В.* Единственность и устойчивость цикла в трёхмерных блочно-линейных моделях кольцевых генных сетей // *Сибирский журнал чистой и прикладной математики.* – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 19–28.
3. *Golubyatnikov V.P., Minushkina L.S.* On uniqueness and stability of a cycle in one gene network // *Siberian Electronic Mathematical Reports.* – 2021. – Vol. 19, № 1. – P. 464–473.
4. *Хартман Ф.* Обыкновенные дифференциальные уравнения. – М.: Мир, 1970. – 720 с.
5. *Ильяшенко Ю.С., Вейгу Л.И.* Нелокальные бифуркации. – М.: МЦНМО, 1999. – 416 с.
6. *Голубятников В.П., Минушкина Л.С.* Монотонность отображения Пуанкаре в некоторых моделях кольцевых генных сетей // *Сибирский журнал индустриальной математики.* – 2019. – Т. 22, № 3. – С. 39–47.
7. *Аюпова Н.Б., Голубятников В.П.* Строение фазового портрета пятимерной модели генной сети // *Сибирский журнал индустриальной математики.* – 2021. – Т. 24, № 3. – С. 19–29.
8. *Голубятников В.П., Минушкина Л.С.* О единственности цикла в одной модели кольцевой генной сети // *Сибирский математический журнал.* – 2022. – Т. 63, № 1. – С. 95–103.

В.П. Голубятников

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

МОДЕЛИ ГЕННЫХ СЕТЕЙ С ДИФФУЗИЕЙ*

Мы изучаем блочно-линейную динамическую систему размерности 3, моделирующую функционирование в биологической клетке генной сети кольцевого типа в присутствии диффузии:

$$\frac{\partial u_j}{\partial t} - l_j^2 \Delta u_j = k_j (L_j(u_{j-1}) - u_j),$$

$$j = 1, 2, 3; j - 1 = 3 \text{ при } j = 1, \quad (1)$$

рассмотренной в [1; 2] в частном случае $l_j = 0$. Здесь $k_j > 0$ положительные постоянные, характеризующие скорости разложения компонент моделируемой генной сети, искомые (неотрицательные) функции $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ описывают концентрации этих компонент, монотонно убывающие ступенчатые функции L_j описывают отрицательные связи между ними:

$$L_j(w) = k_j a_j \text{ при } 0 \leq w \leq 1; L_j(w) = 0 \text{ при } 1 < w.$$

Оператор Лапласа вычисляется по геометрическим координатам x , y , z в клетке и описывает процесс диффузии по её объёму компонент генной сети.

Будем рассматривать случай, когда $a_j > 1$ при всех j . Физический смысл этого условия состоит в том, что максимальные скорости синтеза всех компонент генной сети выше, чем скорости их разложения. Если $a_j \leq 1$ хотя бы для какого-нибудь номера j , системы вида (1) циклов не имеют, см. [2].

В фазовом портрете системы (1) построена инвариантная область $Q^3 = [0, a_1] \times [0, a_2] \times [0, a_3]$. Плоскости $u_j = 1$ разбивают область Q^3 на 8 блоков. Занумеруем их бинарными мульти-индексами: блок $\{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3\} \subset Q^3$ задаётся неравенствами $0 \leq u_j \leq 1$ при

* Работа поддержана РНФ, проект № 23-21-00019.

$\varepsilon_j = 0$, и неравенством $1 < u_j \leq a_j$ при $\varepsilon_j = 1$. Ввиду того, что функции L_j являются ступенчатыми, в каждом из этих блоков система (1) распадается на три независимых друг от друга уравнения параболического типа. Подобные инвариантные области и их разбиения конструируются также и для многомерных аналогов системы (1), см. [3,4,5]. Обозначим через W_1 объединение шести блоков, перечисленных в диаграмме

$$\begin{aligned} \{011\} \rightarrow \{010\} \rightarrow \{110\} \rightarrow \{100\} \rightarrow \{101\} \rightarrow \\ \rightarrow \{001\} \rightarrow \{011\} \rightarrow \dots \end{aligned} \quad (2)$$

В работе [2] показано, что если $a_j > 1$, то область W_1 инвариантна относительно положительных сдвигов вдоль траекторий системы (1) и содержит в точности один цикл C системы (1); этот цикл экспоненциально устойчив и проходит по блокам согласно стрелкам диаграммы (2).

Композиция Π указанных отображений является отображением Пуанкаре цикла C из грани $F_0 = \{011\} \cap \{010\}$ в себя. Там же в [2] было установлено, что отображение Π имеет в точности две неподвижные точки – точку, через которую проходят все плоскости $u_j = 1$, и остающуюся на месте при всех отображениях, указанных в диаграмме (2), и ещё одну точку, через которую проходит цикл C . Все элементы матрицы Якоби $J(\Pi)$ отображения Π положительны, что позволяет использовать теоремы Фробениуса-Перрона.

Теорема. *Если $a_j > 1$ при всех j , то для каждой точки $X_0 = (x_0, y_0, z_0)$ в клетке траектории $(u_1(X_0, t), u_2(X_0, t), u_3(X_0, t))$ системы (1) проходят через блоки инвариантной области W_1 согласно стрелкам диаграммы (2).*

На основе построений таких диаграмм, см. также [6; 7], установлены условия существования цикла в области W_1 . Полученные результаты переносятся и на широкий класс математических моделей подобных кольцевых генных сетей, рассмотренных в [8; 9].

Литература

1. Голубятников В.П., Иванов В.В., Минушкина Л.С. О существовании цикла в одной несимметричной модели генной сети // Сибирский журнал чистой и прикладной математики. – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 27–35.

2. *Голубятников В.П., Иванов В.В.* Единственность и устойчивость цикла в трёхмерных блочно-линейных моделях кольцевых генных сетей // Сибирский журнал чистой и прикладной математики. – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 19–28.
3. *Аюпова Н.Б., Голубятников В.П.* Строение фазового портрета пятимерной модели генной сети // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2021. – Т. 24, № 3. – С. 19–29.
4. *Иванов В.В.* Притягивающий предельный цикл модели нечётномерной кольцевой генной сети // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2022. – Т. 25, № 3. – С. 25–32.
5. *Минушкина Л.С.* Фазовые портреты блочно-линейной динамической системы в одной модели кольцевой генной сети // Математ. заметки СВФУ. – 2021. – Т. 28, № 2. – С. 34–46.
6. *Hastings S., Tyson J.J., Webster D.* Existence of periodic solutions for negative feedbacks cellular control systems // Jour. Diff. Equations. – 1977. – Vol. 25. – P. 39–64.
7. *Glass L., Pasternack J.C.* Stable oscillations in mathematical models of biological control systems // Journal of Mathematical Biology. – 1978. – Vol. 6. – P. 207–223.
8. *Кириллова Н.Е.* О инвариантных поверхностях в моделях генных сетей // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2020. – Т. 23, № 4. – С. 69–76.
9. *Голубятников В.П., Минушкина Л.С.* О единственности цикла в одной модели кольцевой генной сети // Сибирский математический журнал. – 2022. – Т. 63, № 1. – С. 95–103.

А.А. Акинъшин¹, В.П. Голубятников², Н.Е. Кириллова²

*¹Российский исследовательский институт Huawei,
г. Санкт-Петербург, Россия*

*²Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет,
г. Новосибирск, Россия*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОЙ МОДЕЛИ ЦИРКАДНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА*

Мы исследуем математическую модель одной малокомпонентной генной сети, которая участвует в регуляции циркадных ритмов, связанных с важными процессами метаболизма в клетках живых организмов. Рассматривается нелинейная динамическая система кинетического типа с гладкими правыми частями, которая является шестимерной моделью такого циркадного осциллятора. Для этой системы проверяется неустойчивость стационарной точки и ищутся циклы в её фазовом портрете.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= k_1(\Gamma_1(x_2) \cdot \gamma_1(x_3) - x_1); \\ \dot{x}_n &= k_n(\Gamma_n(x_5) \cdot L_n(x_1) - x_n); \quad n = 2, 3, 4; \\ \dot{x}_5 &= k_5(\Gamma_5(x_6) - x_5); \quad \dot{x}_6 = k_6(L_6(x_4) - x_6). \end{aligned} \quad (1)$$

Переменные динамической системы (1) описывают концентрации компонент x_j , а скорости их естественного разложения характеризуются положительными коэффициентами k_j , здесь $1 \leq j \leq 6$.

Положительные функции L_s , $s = 2, 3, 4, 6$, являются монотонно убывающими и описывают отрицательные обратные связи, при этом $L'_s < 0$. Положительные функции γ_1 , Γ_p , $p = 1, 2, 3, 4, 5$, являются монотонно возрастающими и соответствуют отрицательным обратным связям. Здесь также $\Gamma'_p > 0$. Подробную биологическую интерпретацию и изучение похожей динамической

* Работа поддержана РФФ, проект № 23-21-00019.

системы см. в [1]. В нашей работе мы не конкретизируем вид убывающих и возрастающих функций, указанных выше.

Для системы (1) получено достаточное условие единственности стационарной точки S_0 :

$$L_4 L'_2 \Gamma'_4 \Gamma_2 \geq L'_4 L_2 \Gamma_4 \Gamma'_2; \quad L_4 L'_3 \Gamma'_4 \Gamma_3 \geq L'_4 L_3 \Gamma_4 \Gamma'_3. \quad (2)$$

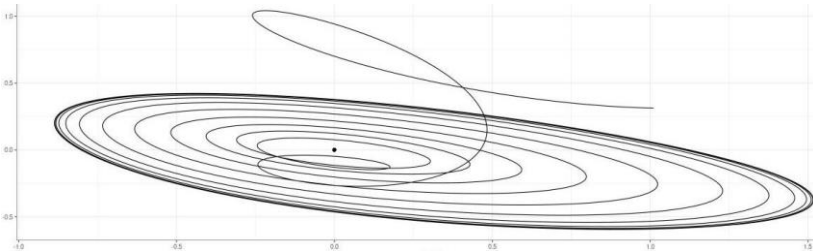
Теорема. Если условие (2) выполнено и

$$-L'_6 \Gamma_5 L_4 \Gamma'_4 > 8 - 2(\Gamma_1 \gamma'_1 L'_3 \Gamma_3 + \Gamma'_1 \gamma_1 L'_2 \Gamma_2),$$

тогда стационарная точка S_0 неустойчива, и система (1) имеет цикл.

Производные L'_s , Γ'_p , γ'_1 и значения этих функций образуют матрицу линеаризации M системы (1) в стационарной точке S_0 .

Проведены вычислительные эксперименты с траекторией системы (1) и её предельным циклом; для этого специально разработано облачное приложение Circadian Oscillator Model (<https://github.com/AndreyAkinshin/clock-bmall>). Для численного моделирования системы дифференциальных уравнений (1) использован алгоритм lsoda из пакета deSolve (подробнее см. [2]).



Проекция траектории системы (1) на двумерную плоскость

С помощью этого приложения была построена проекция найденного цикла на двумерную плоскость в \mathbf{R}^6 (см. рис.), натянутую на пару собственных векторов, соответствующих собственным значениям матрицы M с положительной вещественной частью. В отдельных случаях мы наблюдали здесь бифуркации циклов. Для некоторых других динамических систем биохимической кинетики нами доказано существование не менее двух циклов в их фазовых портретах [3], см. также [4].

Литература

1. Голубятников В.П., Подколотная О.А., Подколотный Н.Л. и др. Об условиях существования циклов в двух базовых моделях циркадного осциллятора млекопитающих // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2021. – Т. 24, № 4. – С. 39–53.
2. Акинъшин А.А., Аюпова Н.Б., Голубятников В.П. и др. Об одной численной модели циркадного осциллятора // Сибирский журнал вычислительной математики. – 2022. – Т. 25, № 3. – С. 227–240.
3. Голубятников В.П., Кириллова Н.Е. О циклах в моделях функционирования кольцевых генных сетей // Сибирский журнал чистой и прикладной математики. – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 54–63.
4. Акинъшин А.А. Бифуркация Андронова – Хопфа для некоторых нелинейных уравнений с запаздыванием // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2013. – Т. 16, № 3. – С. 3–15.

Л.С. Минушкина

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

ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ТРАЕКТОРИИ МОДЕЛЕЙ ГЕННЫХ СЕТЕЙ С ГЛАДКИМИ МОНОТОННЫМИ ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ*

Мы будем рассматривать трехмерную модель генной сети,

$$\frac{dx_j}{dt} = k_j(L_j(x_{j-1}) - \Gamma_j(x_j)), \quad (1)$$

где переменные $x_i \geq 0$ обозначают концентрации веществ, участвующих в моделируемых реакциях. Здесь $j = 1, 2, 3, j-1 := 3$ при $j = 1$. Скорость синтеза каждого вещества зависит от концентрации предыдущего вещества и описывается гладкой монотонно убывающей функцией L_j . За скорость разложения отвечают вычитаемые в правых частях уравнений с гладкими монотонно возрастающими функциями Γ_j , а также коэффициенты $k_j > 0$.

Определим для каждого j величину $M_j = \min \{L_j(0), \max_{x_j} \Gamma_j(x_j)\}$ и построим область

$$Q = [0, \Gamma_1^{-1}(M_1)] \times [0, \Gamma_2^{-1}(M_2)] \times [0, \Gamma_3^{-1}(M_3)].$$

Лемма. Траектории системы (1), попадающие в область Q , не покидают эту область с ростом времени. Кроме того, Q содержит единственную стационарную точку S_0 системы (1).

Если провести через точку $S_0(x_1^0, x_2^0, x_3^0)$ три плоскости, параллельные координатным, получим разбиение области Q на восемь блоков. Шесть из них обладают таким свойством, что траектории могут перейти из каждого блока в соседний, пересекая только одну из общих граней. Будем исследовать переходы траектории по этим блокам в порядке, определенном диаграммой $\dots \rightarrow \{100\} \rightarrow \{101\} \rightarrow \{001\} \rightarrow \{011\} \rightarrow \{010\} \rightarrow \{110\} \rightarrow \{100\} \rightarrow (2)$

* Работа поддержана РФФ, проект № 23-21-00019.

Циклическая диаграмма (2) описывает также и переходы из блока в блок для аналогичных моделей со ступенчатыми функциями вместо гладких, принципы таких построений приведены в [1; 2].

Теорема. Если выполняется условие

$$k_1 k_2 k_3 (p_1 p_2 p_3 + q_1 q_2 q_3) < (k_1 p_1 + k_2 p_2 + k_3 p_3) \times \\ \times (k_1 k_2 p_1 p_2 + k_1 k_3 p_1 p_3 + k_2 k_3 p_2 p_3), \quad (3)$$

то у системы (1) существует цикл, который содержится в инвариантной области Q . Здесь $p_j = \Gamma'_j(x_j^0)$, $-q_j = L'_j(x_j^0)$.

Далее, рассмотрим шестимерную динамическую систему

$$\frac{dx_1}{dt} = k_1(L_1(y_3) - \Gamma_1(x_1)); \quad \frac{dy_j}{dt} = l_j(\gamma_j(x_j) - G_j(y_j)); \quad (4)$$

$$\frac{dx_j}{dt} = k_j(L_j(y_{j-1}) - \Gamma_j(x_j)), j = 1, 2, 3.$$

Здесь $l_j(\gamma_j)$ – гладкие монотонно возрастающие функции. Аналогичные динамические системы для линейных функций Γ_j и G_j изучались в [3; 4]. Инвариантная область данной системы разбивается на три подобласти. Мы рассматриваем ту подобласть, в которой траектории могут перейти только в один соседний блок, пересекая пятимерную грань. Порядок перехода определяет диаграмма

$$\dots \rightarrow \{110011\} \rightarrow \{010011\} \rightarrow \{000011\} \rightarrow \{001011\} \rightarrow \\ \rightarrow \{001111\} \rightarrow \{001101\} \rightarrow \{001100\} \rightarrow \{101100\} \rightarrow \{111100\} \rightarrow \\ \rightarrow \{110100\} \rightarrow \{110000\} \rightarrow \{110010\} \rightarrow \dots$$

Система (4) имеет единственную стационарную точку внутри инвариантной области. Рассуждения, проведенные для трехмерной системы (1), и аналоги результатов, полученных выше, можно перенести и на шестимерный случай.

Литература

1. Glass L., Pasternack J.S. Stable Oscillations in Mathematical Models of Biological Control Systems // Journal of Math. Biology. – 1978. – Vol. 6. – P. 207–223.
2. Гайдов Ю.А., Голубятников В.П. О некоторых нелинейных динамических системах, моделирующих несимметричные генные сети // Сибирский журнал чистой и прикладной математики. – 2007. – Т. 7, № 2. – С. 23–32.

3. *Elowitz M.B., Leibler S.* A synthetic oscillatory network of transcriptional regulators // *Nature*. – 2000. – Vol. 403. – P. 335–338.
4. *Аюпова Н.Б., Голубятников В.П., Казанцев М.В.* О существовании цикла в одной несимметричной модели молекулярного репрессора // *Сибирский журнал вычислительной математики*. – 2017. – Т. 20, № 2. – С. 121–130.
5. *Голубятников В.П., Минушкина Л.С.* О единственности цикла в одной модели кольцевой геной сети // *Сибирский математический журнал*. – 2022. – Т. 63, № 1. – С. 95–103.

А.Л. Резник, А.А. Соловьев

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

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОЦЕССА ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ
ЛОКАЛИЗАЦИИ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ
СО СЛУЧАЙНОЙ ДИСЦИПЛИНОЙ
ГЕНЕРАЦИИ ИМПУЛЬСОВ***

Представленные в настоящем сообщении задачи интеллектуального анализа случайных импульсно-точечных полей связаны с высокоточным определением координат объектов-источников излучения, причем в большинстве практически важных приложений сделать это необходимо за минимальное время. В современных разделах информатики подобные задачи возникают при построении алгоритмов обнаружения слабоконтрастных и малоразмерных объектов на зашумленных цифровых изображениях, а, например, в теории сигналов эти методы используются для оценивания надежности регистрации случайных точечных полей [1; 2]. Эквивалентные в математическом плане вопросы возникают в задачах обнаружения, локализации и сопровождения целей-источников излучения.

Для рассматривавшихся нами приемных систем с произвольным, но фиксированным числом детекторных приемных устройств требовалось построить алгоритмы, имеющие минимальное среднее (по ансамблю реализаций) время достижения нужной точности локализации. Решение этой вариационной задачи в общем случае связано с нахождением экстремалей весьма сложных интегральных выражений [3; 4]. Например, для системы

* Работа выполнена в рамках государственного задания (проект Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № ААА-А17-117052410034-6).

с одним приемным устройством оптимальное решение должно доставлять минимум функционалу

$$\langle \tau \rangle = \sum_{k=1}^m \lambda^k \int_0^{\infty} dx f(x) \int \dots \int t_k \times \left\{ \prod_{l=1}^k \left[dt_l u_l \left(x, \sum_{s=1}^l t_s / t_1, \dots, t_{l-1} \right) \exp \left(-\lambda \int_{\sum_{s=1}^{l-1} t_s}^{\sum_{s=1}^l t_s} u_l(x, \xi / t_1, \dots, t_{l-1}) d\xi \right) \right] \right\} \quad (1)$$

при ограничении

$$\int u_m(x, t / t_1, \dots, t_{m-1}) dx = \varepsilon.$$

Здесь $u_i(x, t / t_1, \dots, t_{i-1})$ – бинарная функция, описывающая стратегию поиска на i -м шаге при условии, что зафиксированные временные интервалы между первыми $(i-1)$ импульсами были t_1, t_2, \dots, t_{i-1} соответственно; m – число поисковых этапов, λ – мощность источника; $f(x)$ – плотность распределения случайного источника на поисковом интервале. В общем случае найти оптимальную стратегию, доставляющую минимум функционалу (1), достаточно проблематично даже для систем с одним приемным устройством. Поэтому при построении оптимальных алгоритмов управления многоприемными системами нами рассматривался частный, хотя и очень важный с практической точки зрения случай, когда не имеется никаких априорных сведений о вероятном расположении источника внутри сегмента поиска, т. е. когда можно считать, что случайный источник равномерно распределен на поисковом интервале. Были рассчитаны параметры оптимального поиска в предположении, что приемная система имеет фиксированное число используемых приемных устройств n ; поиск ведется на связном компактном сегменте $[0, L]$; требуемая абсолютная точность локализации составляет ε . Вычисляемыми параметрами являлись: оптимальное количество поисковых этапов m_{opt} ; размеры окон обзора W_i на каждом из этапов; среднее время оптимального поиска $\langle \tau \rangle$.

Литература

1. *Zhu X., Wen L., Hobbs G. et al.* Detection and localization of single-source gravitational waves with pulsar timing arrays // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford Academic Press. – 2015. – Vol. 449, № 2. – P. 1650–1663.
2. *Reznik A.L., Tuzikov A.V., Soloviev A.A., Torgov A.V., Kovalev V.A.* Time-optimal algorithms focused on the search for random pulsed-point sources // *Computer Optics*. – 2019. – Vol. 43, № 4. – P. 605–610.
3. *Bellman R.E., Glicksberg I.L., Gross, O.A.* Some aspects of the mathematical theory of control processes. – Santa Monica, CA: RAND Corporation, 1958.
4. *Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф.* Математическая теория оптимальных процессов. – М.: Наука, 1969.

М.М. Ромаданова

*Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия*

О ВЛИЯНИИ ВЫБОРА УЗЛОВОГО ВЕКТОРА ПРИ ПОСТРОЕНИИ В-СПЛАЙНОВ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ

Сплайном называется непрерывная кусочно-заданная функция, каждый сегмент которой является алгебраическим полиномом и строится по контрольным точкам [1, с. 12].

Пусть $C(u)$ определяет кривую как функцию от параметра u , тогда В-сплайн определяется как $C(u) = \sum_{i=0}^k N_{i,n}(u) P_i$, $u_{\min} \leq u \leq u_{\max}$, $1 \leq n \leq k$, где P_i – вектор, содержащий координаты контрольных вершин, $N_{i,n}(u)$ – базисные функции степени n , определенные на векторе узловых точек $U = [u_0, \dots, u_m]$.

Для i -ой функции базиса степени n функции базиса определяются рекурсивными формулами Кокса–де Бура:

$$N_{i,0}(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u_i \leq u \leq u_{i+1} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases},$$

$$N_{i,n}(u) = \frac{u - u_i}{u_{i+n} - u_i} N_{i,n-1}(u) + \frac{u_{i+n+1} - u}{u_{i+n+1} - u_{i+1}} N_{i+1,n-1}(u).$$

Так как базисные функции $N_{i,n}(u)$ определяются рекуррентно, то необходимо, чтобы при построении В-сплайна выполнялось условие $(k+1) + n + 1 = m + 1$, откуда $k + n + 1 = m$, где $k + 1$ – количество заданных точек контрольного полигона, n – степень В-сплайна, $m + 1$ – количество точек узлового вектора.

Поставим задачу следующим образом: допустим, у нас есть набор точек P_0, \dots, P_k , при этом каждой точке поставим в соответствие значение параметра u_i , $i = 0, \dots, k$. Необходимо построить В-сплайн, проходящий через заданные точки и при этом определить точки контрольного полигона.

В работе [2] для решения данной задачи описывается метод последовательных приближений. В качестве входных данных берутся точки P_0, \dots, P_k и значения параметров u_0, \dots, u_k . Начальное приближение находится по формуле $C^0(u) = \sum_{i=0}^k N_{i,n}(u) P_i^0$, где

$P_i^0 = P_i$, $i = 0, \dots, k$. Последующие итерации вычисляются по формулам: $\Delta_i^j = P_i - C^j(u_i)$, $P_i^{j+1} = P_i^j + \Delta_i^j$, $C^{j+1}(u) = \sum_{i=0}^k N_{i,n}(u) P_i^{j+1}$.

Процесс итераций останавливается при выполнении условия $\max_{0 \leq i \leq k} \|P_i - C^j(u_i)\| < \varepsilon$.

Метод последовательных приближений с весовым параметром [3] отличается тем, что в формулу вычисления точек P_i^{j+1} на каждом новом шаге итерации добавляется весовой параметр ω :

$P_i^{j+1} = P_i^j + \omega \Delta_i^j$, где $\omega = \frac{2}{1 + \lambda_n(N)}$ и $\lambda_n(N)$ – наименьшее

собственное число матрицы:

$$N = \begin{pmatrix} N_{0,p}(u_0) & \dots & N_{n,p}(u_0) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ N_{0,p}(u_n) & \dots & N_{n,p}(u_n) \end{pmatrix}.$$

Для примера построим В-сплайн по 6 точкам: $P_0(2;2)$, $P_1(1;6)$, $P_2(7;6)$, $P_3(5;1)$, $P_4(14;1)$, $P_5(12;5)$. Возьмем точки P_i как точки, через которые должен пройти В-сплайн. Значения параметра u_i , поставленные в соответствие этим точкам, зададим равномерно: $[0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1]$. Методом последовательных приближений были построены В-сплайны, при этом точки P_i были

взяты в качестве начального приближения точек контрольного полигона.

Степень сплайна (n)	Количество точек узлового вектора ($m + 1$)	Узловой вектор u	Количество итераций	
			Метод послед. приближений	Метод послед. приближений с весовым параметром
$n = 1$	8	$u = [0 \ 0 \ 0,2 \ 0,4 \ 0,6 \ 0,8 \ 1 \ 1]$	4	4
$n = 2$	9	$u = [0 \ 0 \ 0 \ 0,25 \ 0,5 \ 0,75 \ 1 \ 1 \ 1]$	17	12
$n = 3$	10	$u = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0,3 \ 0,6 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$	38	23
$n = 4$	11	$u = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0,5 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$	91	49
$n = 5$	12	$u = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$	209	108

В таблице приведено получившееся количество итераций для различных степеней сплайна и узловых векторов. Так как строились закрытые В-сплайны, т. е. проходящие через нулевую и последнюю точки контрольного полигона, то узловой вектор выбран так, чтобы первые и последние $n + 1$ значений были одинаковыми. Промежуточные значения в узловом векторе были взяты равномерными. Из таблицы видно, что при увеличении степени сплайна необходимое количество итераций возрастает, и использование весового параметра действительно уменьшает требуемое количество итераций.

Литература

1. *Задорожный А.Г., Киселев Д.С.* Построение сплайнов с использованием библиотеки OpenGL. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 88 с.
2. *Delgado J., Peña J.M.* Progressive iterative approximation and bases with the fastest convergence rates // *Computer Aided Geometric Design*. – 2007. – № 24. – P. 10–18.
3. *Lu L.* Weighted progressive iteration approximation and convergence analysis // *Computer Aided Geometric Design*. – 2010. – № 27. – P. 129–137.

Л.Т. Рязанцева, У.Д. Андрианова, В.П. Октябрьский

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

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВУЗА

В последние десятилетия коренным образом изменились условия функционирования вузов, главным образом, из-за реформ в системе высшего образования. Мировая глобализация, интеграция системы образования в международное образовательное пространство обусловили модернизацию всей системы образования, а именно, трансформацию традиционных и появление новых функций вузов, что повлияло на устойчивость и устойчивое развитие высших учебных заведений [1].

Изменение организационных и экономических условий деятельности вузов выдвигает на первый план проблему обеспечения устойчивости их функционирования на рынке образовательных услуг. Очевидно, что повышение устойчивости структурных подразделений высшего учебного заведения и развитие системы управления ими будет способствовать устойчивости вуза и повышению эффективности его деятельности. Поэтому в контексте рассматриваемого вопроса оцениваем эффективность вуза с позиции устойчивости его структурных подразделений.

Моделирование функционирования структурного подразделения как одного из элементов иерархической многоуровневой организационной системы, а также оценка эффективности функционирования должны осуществляться в основном с использованием системного анализа. Схема формирования групп показателей оценки устойчивости структурного подразделения представлена на рисунке.

Для оценки эффективности предложены следующие показатели устойчивости структурного подразделения:

- 1) Социальная устойчивость:

1.1) коэффициент текучести кадров: $K_{\text{тк}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$, где x_i – значение соответствующего показателя в i -м году, n – количество периодов; чем ниже значение, тем выше уровень устойчивости и, наоборот;

1.2) коэффициент среднемесячной зарплаты: $K_{\text{зп}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$, чем ниже значение, тем выше уровень устойчивости и, наоборот.

2) Оценка организации управления:

2.1) коэффициент качества выполнения управленческих функций: $K_{\text{к.у.ф}} = \left| \frac{1 - \sum_1^m t_{ni}}{\sum_1^n T} \right|$, где $\sum_1^m t_{ni}$ – суммарные потери рабочего времени в структурных подразделениях за отчетный период из-за несвоевременного или неудовлетворительного выполнения соответствующей управленческой функции, ч.; m – число функций управления; T – суммарный сменный фонд времени в соответствующих подразделениях, ч.; n – число подразделений;

2.2) коэффициент стабильности кадров: $K_{\text{ск}} = \left| \frac{1 - \text{Ч}_y}{\text{Ч}_{\text{ср}} - \text{Ч}_n} \right|$, где Ч_y – численность сотрудников, уволенных по собственному желанию за отчетный период, $\text{Ч}_{\text{ср}}$ – средне-списочная численность сотрудников в период предшествующий отчетному, Ч_n – численность сотрудников, принятых за отчетный период.

3) Оценка рациональности распределения задач, ответственности между сотрудниками:

3.1) коэффициент актуализации функций: $K_{\text{аф}} = \Phi_{\text{ф}} / \Phi_{\text{о}}$, где $\Phi_{\text{ф}}$ – количество фактически выполняемых функций, $\Phi_{\text{о}}$ – количество основных и вспомогательных функций, обусловленных деревом целей системы;

3.2) коэффициент концентрации функций: $K_{\text{кф}} = \Phi_{\text{ф}} / \Phi_{\text{осн}}$, где $\Phi_{\text{осн}}$ – количество основных функций.

4) Оценка реализации задач сотрудниками:

4.1) своевременность выполнения задач, $K_{\text{вз}}$: диапазон принимаемых значений: $[0.. 1]$;

4.2) эффективность процесса, $K_{\text{эф}}$: диапазон принимаемых значений: $[0.. 1]$.

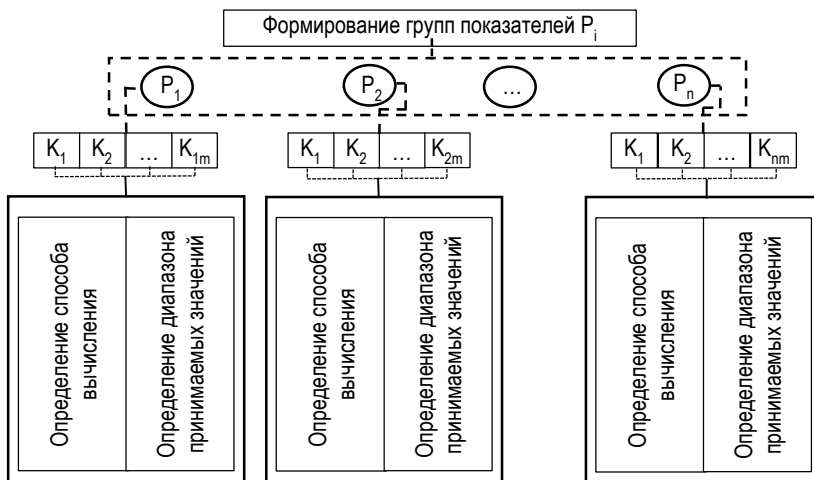


Схема формирования групп показателей оценки устойчивости

Итоговая оценка устойчивости вуза определяется по формуле: $K_{\text{общ}} = (K_{i=1}^m P_i) / t$, где t – число структурных подразделений вуза, j – показатели, по которым осуществляется оценка устойчивости. Итоговый показатель можно формировать в виде бальной системы.

Литература

1. Резник Г.А., Пономаренко Ю.С., Курдова М.А. Функции вуза: новые возможности развития // Интернет-журнал «Мир науки». – 2014. – № 4.

А.М. Ерёмин¹, П.В. Захаров², А.И. Чередниченко³

*¹Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова,
г. Бийск, Россия*

*²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия*

*³Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина,
г. Бийск, Россия*

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВЫСОКОАМПЛИТУДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ АТОМОВ НА ПОВЕРХНОСТИ С ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ КРИВИЗНОЙ

Динамические дискретные структуры играют важную роль в большом количестве процессов в природе и технике. Возможность поддерживать локализованные возбуждения такими структурами расширяет перспективы их применения [1]. Локализованные состояния в дискретной системе возможны при проявлении нелинейности связей. В общем случае это приводит к формированию различных типов локализованных мод и состояний структуры.

Локальные возбуждения атомной структуры вблизи поверхности кристаллов могут приводить к различным нелинейным эффектам, влияющим на структурные и энергетические превращения материала на значительном расстоянии от поверхности. При этом свойства локализованных возбуждений изменяются в зависимости от энергетического рельефа поверхности. Для простых случаев в [2] рассмотрены колебательные моды у поверхности и их характеристики с позиций концепции дискретных бризеров [3]. При этом следует отметить, что речь идет о локализованных модах вблизи неоднородностей, так как дискретным бризером можно назвать нелинейную локализованную моду, если она существует в среде с трансляционной симметрией без искажения. Наличие каких-либо дефектов и неоднородностей не

обеспечивает этого условия. Однако показанная нами в [2] возможность передачи энергии с поверхности внутрь такой системы указывает на прямую связь между этими типами колебаний.

Внешние периодические воздействия могут приводить к проявлению эффекта супратрансмиссии. Который должен передавать энергию на частотах вне спектра системы. Следует отметить роль дискретных бризеров в формировании условий транспорта энергии через кристалл. Внешние колебания, в свою очередь, могут имитировать граничные условия, соответствующие динамике объема кристалла, что приводит к рассмотрению мод, находящихся далеко от поверхности.

В данной работе рассматривается влияние кривизны поверхности с цилиндрической симметрией на возможность возбуждения поверхностных локализованных мод. Мы рассмотрели такие моды с позиций дискретных бризеров и квазибризеров. Исследование проводилось с использованием метода молекулярной динамики. Модель представляла собой гранецентрированный кубический кристалл состава A_3B со сверхструктурой $L1_2$, где компонент A – Pt, B – Al. Взаимодействие частиц описывалось межатомным потенциалом, полученным методом погруженного атома. Показана принципиальная возможность существования локализованных мод на рассматриваемой поверхности. Рассчитаны энергетические и динамические характеристики локализованных возбуждений в зависимости от кривизны и положения атома на поверхности кристалла.

Литература

1. *Chong C., Porter M., Kevrekidis P., Daraio Ch.* Nonlinear Coherent Structures in Granular Crystals // *Journal of physics Condensed matter.* – 2016. – Vol. 29. – P. 1–41.
2. *Zakharov P.V., Korznikova E.A., Dmitriev S.V., Ekomasov E.G., Zhou K.* Surface discrete breathers in Pt_3Al intermetallic alloy // *Surface Science.* – 2019. – Vol. 679. – P. 1–5.
3. *Flach S., Willis C. R.* Discrete Breathers // *Phys. Rep.* – 1998. – Vol. 295. – P. 181–264.

*А.К. Гуц, Л.В. Захарихина, Е.А. Виноцкая,
С.П. Черненко, В.В. Керимзаде*

*Федеральный исследовательский центр
«Субтропический научный центр РАН»,
г. Сочи, Россия*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПОСТПИРАГЕННЫХ ЗОН РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ГОРЕНИЯ

В мае 2022 г. сотрудниками лаборатории геоэкологии и природных процессов Субтропического научного центра РАН изучена сукцессия растительности в заповеднике Утриш, (полуостров Абрау, Черноморское побережье России), пострадавшем от лесного пожара в 2020 г. Была исследована геохимическая трансформация почвенно-растительного покрова в разных, по интенсивности пожара, зонах. В качестве растений выбраны мхи, являющиеся известными хорошими сорбентами и характеризующиеся соответственно максимально контрастными различиями накопления химических элементов в разных зонах горения. Было выявлено максимальное накопление химических элементов в почвах в зоне интенсивного пожара. Установлен первый этап сукцессии для мхов в зоне малоинтенсивного горения и прохождение этого этапа в зоне максимального по интенсивности пожара. Первый этап сукцессии для мхов характеризуется активным накоплением в них широкого спектра химических элементов. Для участков интенсивного пожара средний коэффициент суммарного накопления химических элементов (суммарное надфоновое превышение содержания элементов) в почвах составляет 31 единицу, внутри зон малоинтенсивного пожара аналогичный показатель равен 8. В мхах эта зависимость имеет отрицательную корреляцию с почвами. В зоне интенсивного пожара коэффициент суммарного накопления для мхов составляет 6 единиц, внутри

участков малоинтенсивного пожара этот показатель равен 20. Определен спектр элементов, необходимых и активно накапливаемых растениям на первых этапах сукцессии, который перспективен в применении в комплексных удобрениях, могущих ускорить восстановление растительности пирогенных зон. К таковым относятся: Na, P, Mo, Cu, Zn, Ni и элементы редкоземельной группы: Er, Ho, Dy, Gd, Tb, Y, Sm, Eu, Nd, Tm, Lu, Pr, Yb, Ce [1].

Таким образом, констатировалось, что избыток определенных элементов на участках повышенной интенсивности горения по сравнению с фоновыми и отсутствие такового на участках с низкой эффективностью пожара является весьма вероятной причиной более успешного первого этапа сукцессии мхов, занявшего 1 год на участках повышенной интенсивности горения и 2 года на участках с низкой эффективностью пожара [1].

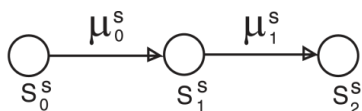
Построена математическая модель, описывающая ускорение сукцессии в зонах повышенной интенсивности горения по сравнению с иными постпожарными участками. Мы моделируем сукцессию на постпожарных участках посредством марковских процессов [2].

Рассматриваем два участка U_s и U_w , претерпевших соответственно пожар повышенной интенсивности (сильный, strong) и пониженной интенсивности (слабый, weak), и обозначаем через S_i ($i = 0, 1, 2$) стадии сукцессии. Стадия S_0 – начальная стадия (2020 г.), послепожарная через год S_1 – первая стадия, и последующая стадия S_2 , время наблюдений которой мы не фиксируем в 2022 г.

Динамика сукцессии представляется переходами растительности из стадии S_i к стадии S_j с определенной вероятностью $P(i,j)$, которые часто описываются как интенсивности, обозначаемые ниже символом $\mu_i = \text{const}$.

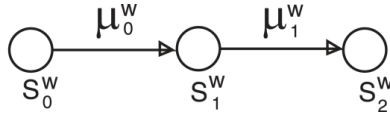
Каждая стадия сукцессии также реализуется с некоторой вероятностью p_i . Представим изучаемые сукцессии посредством графов переходов и соответствующих им уравнений Колмогорова–Чепмена:

– Граф переходов на участке U_s



$$\begin{aligned}
 p'_{0s} &= -\mu_{0s}p_{0s}(t), \\
 p'_{1s}(t) &= \mu_{0s}p_{0s}(t) - \mu_{1s}p_{1s}(t), \\
 p'_{2s}(t) &= \mu_{1s}p_{1s}(t).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

– Граф переходов на участке U_w



$$\begin{aligned}
 p'_{0w} &= -\mu_{0w}p_{0w}(t), \\
 p'_{1w}(t) &= \mu_{0w}p_{0w}(t) - \mu_{1w}p_{1w}(t), \\
 p'_{2w}(t) &= \mu_{1w}p_{1w}(t).
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Избыток элементов на участке U_s ведет к интенсификации потока событий, способствующих ускорению сукцессии. Поэтому мы полагаем,

$$\mu_{0s} > \mu_{0w}. \tag{3}$$

Уравнения (1), (2) решаем при начальных данных

$$\begin{aligned}
 p_{0s}(0) &= 1, p_{1s}(0) = p_{2s}(0) = 0, \\
 p_{0w}(0) &= 1, p_{1w}(0) = p_{2w}(0) = 0.
 \end{aligned}$$

Условие (3) влечет, что $p_{0s}(t) < p_{0w}(t)$. Это говорит о том, что восстановление мхов на участке U_s идет быстрее, вероятность оставаться на стадии S_0 резко падает с течением времени по сравнению с участком U_w .

Считаем, что оказавшись в стадии S_1 , растения участка U_s исчерпали преимущество в восстановлении, заключавшееся в избытке ряда элементов. Это предположение достаточно естественно, поскольку данный избыток очень незначительно превышал фоновый. Сказанное, математически оформляем, как требование выполнения соотношений:

$$\mu_{1s} = \mu_{1w} = \mu_1 > \mu_{0s} > \mu_{0w}. \tag{4}$$

Показано, что это условие влечет $p_{1s}(t) > p_{1w}(t)$. Следовательно, на участке U_s растения имеют больше шансов оказаться в «успешной» стадии сукцессии S_1 , чем на участке U_w .

Из (4) ожидаемо вытекает также, что среднее время восстановления растительности на участке U_s меньше, чем на U_w :

Интенсивности в нашем случае определяются двумя наблюдаемыми величинами:

Z_c – суммарное превышение содержания элементов в почве относительно фоновых показателей;

V_c – суммарное превышение содержания элементов в растениях относительно фоновых показателей.

Найдена формула

$$\mu_0 = \frac{1}{2} \exp\left(\frac{1 Z_c}{4 V_c}\right),$$

которая увязывает теоретическую интенсивность марковского процесса с конкретным геохимическим основанием, обуславливающим скорость сукцессии на участках.

Найдено, что для участка U_s величины $Z_c = 31$, $V_c = 8$, а для участка U_w величины $Z_c = 6$, $V_c = 20$.

Среднее время (в годах) переходов $S_{0s} \rightarrow S_{2s}$ и $S_{0w} \rightarrow S_{2w}$ можно оценить соответственно по формулам:

$$T_s = \frac{1}{\mu_{0s}} + \frac{1}{\mu_{1s}}, \quad T_w = \frac{1}{\mu_{0w}} + \frac{1}{\mu_{1w}}.$$

Примем, что $\mu_{1s} = \mu_{1w} = \mu_1 = 5$.

Тогда $\mu_1 = 5 > \mu_{0s} = 1,32 > \mu_{0w} = 0,54$ и $T_s = 0,76 + 0,2 = 0,96 > T_s = 1,85 + 0,2 = 2,05$ (в годах)

Таким образом, неравенства (4) выполняются, а временные отрезки сукцессии совпадает с наблюдаемыми.

Литература

1. Черненко С.П., Рогожина Е.В., Керимзаде В.В. Активность каталазы и уреазы, как индикатор пирогенной нарушенности почв (заповедник Утриш, полуостров Абрау) // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2022. – № 82. – С. 222–236.
2. Венцель Е.С. Исследование операций. – М.: Высшая школа, 2001. – 208 с.

А.К. Гуц

*Федеральный исследовательский центр
«Субтропический научный центр РАН»,
г. Сочи, Россия*

ПРОЕКТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИВНЕВЫХ ДОЖДЕВЫХ СТОКОВ В СОЧИ

Для города-курорта Сочи важной задачей является прогнозирование ливневых дождевых стоков в черте города с учетом городских застроек. Дожди идут непрерывно несколько дней, ливневая канализация и коллекторы не справляются с пропуском воды, что приводят к бурным глубоким потокам воды вдоль улиц, смывающим автомобили и пешеходов, выходу из берегов рек, нанесению ущерба как городскому хозяйству, так и жилым домам, частным предприятиям. В 2022 году погибли люди.

Несмотря на наличие катастрофического повторяющегося бедствия, в городе отсутствует геоинформационная система, прогнозирующая наиболее опасные места водостоков. Городские власти, конечно, знают о проблемных местах и улицах. Но эти знания формируются *по факту* произошедших бедствий в течение нескольких лет.

В лаборатории геоэкологии и природных процессов Субтропического научного центра РАН разрабатывается необходимая геоинформационная система. Для этого используются как существующее программное обеспечение, позволяющее создавать геоинформационную систему прогнозирования ливневых дождевых стоков (ArcGIS, SASPlanet, QuantumGIS, NextGIS и др.), опираясь на накопленные и обновляемые цифровые модели рельефа (ЦМР), созданные с помощью шатлов и космических спутников, так и собственные математические разработки.

Применение геоинформационных технологий и цифровых моделей рельефа (ЦМР) позволяет в значительной степени автоматизировать процесс прогнозирования направлений водостоков

[1]. Однако основной проблемой является неудовлетворительный масштаб разрешимости объектов, важность учета городских зданий, заборов, их коррекция в ГИС-системе, состояния почвы и т. д. Для построения границ зон затопления необходимо в качестве исходных данных иметь максимально подробную информацию о рельефе территории и значениях уровней. Решение этих задач с очевидности приводит к оснащению ГИС-системы интеллектуально-информационным блоком, с помощью которого ГИС-система получает способность к самообучению, основанного на нейронных сетях или иных методах машинного обучения. Это позволит учитывать постоянные изменения в городском ландшафте, связанные с бурным строительством и последствиями олимпийских застроек, и иметь надежный инструмент для предотвращения и смягчения последствий ливневых дождей и связанных с ними бедствий, реагирования на чрезвычайные ситуации и управления ими, особенно для ликвидации аварий в городских районах. В определенной мере это способ учета специфики Сочи с его многочисленными незаконными постройками, которые хотя так или иначе обнаруживаются в обновляемых картах, но отсутствуют в учетной городской системе.

Знать места водостоков, их направления нужно достаточно точно, но, к сожалению, имеющиеся ЦМР имеют ячейки размером порядка 1 км, хотя в открытом доступе появились глобальные ЦМР с шагом сетки от 30 до 250 м (SRTM, GMTED2010, ASTER GDEM). «Наиболее подходящей для решения задачи формирования стока была признана ЦМР GMTED2010 ввиду доступности для использования, приемлемой точности и скорости работы с моделью. Эта модель находится в открытом доступе» [1]. Еще одной серьезной задачей является совершенствование метода корректного представления высот в используемых ЦМТ. Для этого делаются исправления в соответствующем слое. Для выявления направления стока используется приложение ArcGIS for Desktop, в котором реализован алгоритм направления стока Deterministic Eight Neighbor (D8) [1]. ЦМР рассматривается как поверхность, составленная из горизонтальных ячеек фиксированной высоты. Жидкость «вытекает» из ячейки и распределяется между теми из ее соседей, высота которых меньше центральной ячейки. Поток из рассматриваемой ячейки целиком направляется

в ту из восьми соседних, которая имеет, во-первых, меньшую высоту и, во-вторых, наибольший уклон линии, соединяющей центр ячейки с центром соседней. Направления стока для данной ячейки указывают, куда и каким образом происходит перемещение. Возможны следующие варианты: перемещение потока из ячейки строго в одну соседнюю ячейку или распределение потока между несколькими соседними ячейками в некоторой пропорции. К настоящему времени предложено и реализовано множество алгоритмов расчета направлений стока, реализующих различные варианты и пропорции распределения потока между соседними ячейками [2]. Создаваемая система учитывает различные алгоритмы. Используются известные методы расчета объема водостока.

Разрабатываемая система моделирования и прогнозирования ливневых дождевых стоков в Сочи необходимый и важный элемент стабилизации городской жизни.

Литература

1. Куракина Н.И., Ковчик В.С. Cartographic modeling of the territory flooding hydrological processes. URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2020/09/29/cartographic-modeling-of-the-territory-flooding/>.
2. Кошель С.М., Энтин А.Л. Вычисление площади водосбора по цифровым моделям рельефа на основе построения линий тока // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2017. – № 3. – С. 42–50.

О.Г. Антоновская

*Нижегородский государственный
архитектурно-строительный университет,
г. Нижний Новгород, Россия*

**МЕТОД ТОЧЕЧНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ
В МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМЫ
С КОМБИНИРОВАННЫМ
ЧАСТОТНО-ФАЗОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Известно [1], что потребности в разработке способа быстрой перестройки автоколебательных систем на основе использования информации о частотно-фазовых свойствах их колебаний диктует необходимость развития приемов качественно-численного моделирования динамики соответствующих систем управления [2].

В настоящем докладе излагаются основные моменты применения методики, основанной на применении метода точечных отображений, к исследованию динамики системы синхронизации с комбинированной широтно-импульсной модуляцией управляющего сигнала (синтезатор частоты (СЧ) с комбинированным импульсным частотно-фазовым детектором (КИЧФД) [2, с.28]). Контур с фазовым управлением функционирует в случае, если импульсы синхронизирующего опорного сигнала (ОС) чередуются с выходными импульсами счетчика. Частотное управление включается, если процесс чередования импульсов ОС и С нарушается. При появлении во времени подряд двух или более импульсов С принудительно устанавливается минимально возможное значение сигнала управления, а при появлении подряд двух или более импульсов ОС – его максимальное значение.

Вследствие принципиальной нелинейности процессов в системе [3], разработка процедуры моделирования процесса перехода от режима фазового управления к режиму частотного управ-

ления, необходимая для построения математической модели в целом, является очень важной.

Сущность использования метода точечных отображений для изучения динамики рассматриваемой системы состоит в рассмотрении фазовых подпространств, соответствующих постоянству структуры математической модели. При этом пространство состояний состоит из трех основных подпространств и двух подпространств переходных движений, в каждом из которых поведение фазовых траекторий определяется уравнениями с постоянной структурой [4].

В докладе приводятся результаты качественного рассмотрения особенностей переходных процессов в СЧ с КИЧФД. Стремление представить получаемые результаты в обобщенном и удобном для последующего качественного анализа виде привело к необходимости использования таблиц переключений (или в их континуальном варианте – поверхностей переключений) [5]. Поскольку при этом в каждом элементе таблицы указывается величина длительности процесса переключения с начального значения управляющего параметра на новое его значение, постольку в конкретных исследованиях обнаружилось, что внутри полосы захвата в синхронный режим существует техническая полоса захвата, внутри которой при всевозможных переключениях СЧ по диапазону гарантируется конечная длительность переходных процессов [6]. Соответствующий анализ показал, что наличие границы технической полосы захвата в СЧ связана с попаданием начальной точки движения на неустойчивое инвариантное многообразие седловой неподвижной точки точечного отображения.

Литература

1. Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем. Труды седьмой Всероссийской научно-практической конференции. – Ульяновск: Изд. УлГУ, 2011.
2. *Левин В.А., Малиновский В.Н., Романов С.К.* Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. – М.: Радио и связь, 1989. – 232 с.
3. *Антоновская О.Г., Горюнов В.И.* Моделирование процесса склейки фазовых траекторий в системе с комбинированным частотно-фазовым управлением // Изв. ИМИ УЭГУ. – 2015. – Вып. 2 (46). – С. 6–12.

4. Антоновская О.Г. О методике качественного анализа переходных процессов в синтезаторе частоты с комбинированным управлением при переключении частоты в широком диапазоне // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. – 2017. – № 3. – С. 12–14.
5. Антоновская О.Г., Горюнов В.И. Качественный анализ переходных процессов в синтезаторе частоты с комбинированным управлением при переключении частоты в широком диапазоне // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. – 2016. – № 4. – С. 4–6.
6. Горюнов В.И., Ерусланов В.Н., Лобашов Н.И. Техническая полоса захвата одноконтурного синтезатора частоты // Техника средств связи. Сер. Техника радиосвязи. – 1990. – Вып. 2. – С. 88–94.

Н.Н. Максимова, А.Ю. Чепикова

*Амурский государственный университет,
г. Благовещенск, Россия*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ
ХРОНИЧЕСКОГО ЛИМФОЛЕЙКОЗА:
МОДЕЛЬ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ***

Одним из наиболее используемых подходов к моделированию онкологии является аппарат дифференциальных уравнений. Задача Коши для системы ОДУ, основанная на идеи конкуренции Лотки-Вольтерры, позволяет биоадекватно объяснить взаимодействие здоровых и опухолевых клеток, а также динамику заболевания в условиях химио- и иммунотерапии.

В данной работе представлена модель развития хронического лимфолейкоза (ХЛЛ), основанная на задаче Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) с запаздыванием по аргументу. Данная модель представляет собой модификацию более общей модели развития ХЛЛ [1]. Предполагается, что лечение (химио- и иммуно-) отсутствует.

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

$$\begin{cases} \frac{dN(t)}{dt} = rN(t) \cdot \left(1 - \frac{N(t-\tau)}{k}\right) - c_1 N(t)I(t), \\ \frac{dI}{dt} = s_0 - dI(t) + \frac{\rho N(t)I(t)}{\gamma + N(t)} - c_2 N(t)I(t). \end{cases}$$

Все параметры модели неотрицательны и означают следующее: $k > 0$ – пропускная способность раковых клеток; r – скорость роста раковых клеток; c_1 и c_2 – коэффициенты взаимодей-

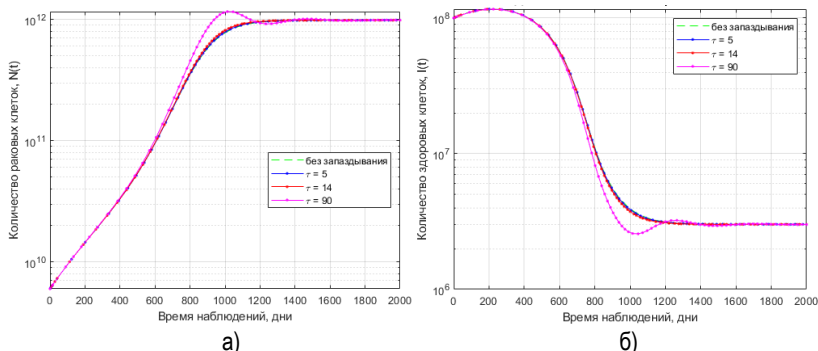
* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект № 122082400001-8).

ствия между раковыми и иммунными клетками; s_0 – естественный приток иммунных клеток к месту взаимодействия; d – 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 [1] и [2].

Введение положительной постоянной τ – это некоторая попытка учесть фактор запаздывания, связанный с возрастной структурой популяции опухолевых клеток.

Для решения начальной задачи будем задавать начальные условия: $N(0) = N_0 > 0$, $I(0) = I_0 \geq 0$. Диагностическим признаком для постановления диагноза ХЛЛ является количество зрелых лейкоцитов более 10×10^9 клеток/л, где суммарное количество лимфоцитов ($N+I$) должно составлять 80–90 % от количества лейкоцитов [3]. Значения N и I подбираются соответственно необходимому признаку.

Будем варьировать начальное количество «больных» и «здоровых» клеток, а также время запаздывания, для исследования динамики болезни. Численное моделирование выполняется в ППП MATLAB с помощью встроенной функции dde23. Результаты моделирования (в логарифмической шкале) представлены на рисунке.



Динамика развития лимфолейкоза без лечения
 (а – динамика изменения раковых клеток;
 б – динамика изменения «здоровых» клеток)
 при $N(0) = 6 \cdot 10^9$ раковых клеток, $I(0) = 10^8$ здоровых клеток

Из расчетов видно, что эффекты запаздывания проявляются не сразу, а лишь через достаточно большой промежуток времени. При данных начальных условиях наблюдается отклонение количества больных и здоровых клеток от соответствующих значений решения, полученного из задачи без запаздывания. Чем больше значение параметра τ , тем сильнее будут проявляться такие эффекты. Однако, по истечении некоторого времени, система возвращается в равновесие – количество больных и здоровых клеток прекращается резко изменяться. При заданных условиях болезнь прогрессирует.

Литература

1. *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.
2. *Максимова Н.Н., А.Ю. Чепикова.* Моделирование динамики хронического лимфолейкоза // *Вестник Амурского государственного университета*. – 2022. – № 99. – С. 8–14.
3. *Войцеховский В.В., Заболотских Т.В., Целуйко С.С., Ландышев Ю.С., Григоренко А.А.* Хронический лимфолейкоз: монография. – Благовещенск: Изд-во ГБОУ ВПО Амурская ГМА Минздрава России, 2015. – 178 с.

Л.И. Мороз, А.И. Перепёлкин

*Амурский государственный университет,
г. Благовещенск, Россия*

АЛГОРИТМ ДЛЯ ЧИСЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ДРОБНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ФИШЕРА – КОЛМОГорова – ПЕТРОВСКОГО – ПИСКУНОВА*

На сегодняшний день дифференциальные уравнения дробного порядка в совокупности с начальными и/или граничными условиями находят широкое применение в различных областях науки и техники: в физике, химии, экономике, гидрологии, биологии и др. Введенные в математические модели дифференциальные операторы нецелого порядка позволяют учесть наследственные свойства и фрактальность геометрического строения реальных объектов. Процессы в подобных системах могут сопровождаться значительными градиентными изменениями анализируемых характеристик или очень длительным временем ожидания эффектов последствия. Как правило, для формализации эффектов памяти используют дробную производную по времени, а для описания течения процессов в объектах со сложной структурой и многофазным составом – производную дробного порядка по координате. Примером таких сред могут выступать популяции бактерий. В работе [1] на основе моделей с нецелой производной для патогенов *Salmonella*, *E. coli* и *Listeria monocytogenes* построены нелинейные кривые выживания и роста при воздействии температур различного диапазона. Модель, основанная на гибридной дробно-стохастической концепции, описывающая процесс коммуникации бактерий посредством чувства кворума, приведена в [2].

* Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 12208240001-8.

В качестве базовой модели, описывающей эволюцию популяций бактерий одного вида, может быть рассмотрена классическая модель Фишера – Колмогорова – Петровского – Пискунова (ФКПП). Однако уравнение ФКПП не учитывает ряд таких факторов, как эффекты памяти, неоднородность популяций по составу, таксис, воздействие продуктов метаболизма на рост популяций [2; 3]. Часть этих процессов возможно учесть путем введения в модель производных дробного порядка. К сожалению, поиск аналитического решения для дробно-дифференциальных уравнений может вызывать серьезные затруднения. Поэтому во многих практических ситуациях оправданным является применение приближенных методов, в частности метода конечных разностей. Настоящая работа направлена на разработку вычислительного алгоритма для решения начально-граничной задачи дробного по времени и пространству уравнения ФКПП.

Математическую постановку задачи представим в следующем обобщенном виде:

$$\frac{\partial^\alpha u(x,t)}{\partial t^\alpha} = D \frac{\partial^\beta u(x,t)}{\partial x^\beta} + au(x,t) - bu^2(x,t), \quad 0 < x < L, \quad 0 < t < T \quad (1)$$

с начальным условием

$$u(x,0) = \psi(x), \quad 0 \leq x \leq L; \quad (2)$$

и граничными условиями I рода:

$$u|_{x=0} = \varphi_1(t), \quad u|_{x=L} = \varphi_2(t), \quad 0 \leq t \leq T, \quad (3)$$

где $0 < \alpha \leq 1$, $1 < \beta \leq 2$ – порядки дробных производных Римана – Лиувилля по времени и пространству, соответственно; D – коэффициент диффузии; a – темп роста популяции; b – коэффициент потерь.

Введем пространственно-временную сетку $\Omega_{\Delta x}^{\Delta t} = \{x_i = i\Delta x, i = \overline{0, M}, t^j = j\Delta t, j = \overline{0, N}\}$, покрывающую расчетную область.

Для решения задачи (1)–(3) рассмотрим неявную вычислительную схему [4]. В качестве конечно-разностного аналога формулы Римана – Лиувилля возьмем дробную производную Грюнвальда – Летникова. Таким образом, получим следующую вычислительную схему для уравнения (1):

$$\frac{1}{(\Delta t)^\alpha} \sum_{n=0}^{j+1} g_{\alpha,n} u_i^{j-n+1} = \frac{D}{(\Delta x)^\beta} \sum_{m=0}^{i+1} g_{\beta,m} u_{i-m+1}^{j+1} + a u_i^{j+1} - b (u_i^{j+1})^2, \quad (4)$$

где $g_{\alpha,n} = \frac{\Gamma(n-\alpha)}{\Gamma(-\alpha)\Gamma(n+1)}$, $g_{\beta,m} = \frac{\Gamma(m-\beta)}{\Gamma(-\beta)\Gamma(m+1)}$ – нормирован-

ные веса Грюнвальда – Летникова.

Поскольку (1) – нелинейное уравнение в частных производных, то рациональным является применение итерационной процедуры. При этом нелинейное слагаемое u^2 заменим следующим образом: $(u^2)^s = (u^2)^{s-1} + 2(u)^{s-1}(u^s - u^{s-1})$, где s – текущая, $s - 1$ – предыдущая итерация. Схема (4) является абсолютно устойчивой и аппроксимирует задачу (1)–(3) с порядком точности $O(\Delta x + \Delta t)$.

Литература

1. Kaur A., Takhar P.S., Smith D.M., Mann J.E., Brashears M.M. Fractional differential equations based modeling of microbial survival and growth curves: model development and experimental validation // Journal of food science. – 2008. – Vol. 73, № 8. – P. E403–14.
2. Kuttler A., Maslovskaya A. Hybrid stochastic fractional-based approach to modeling bacterial quorum sensing // Applied Mathematical Modelling. – 2021. – Vol. 93. – P. 360–375.
3. Борисов А.В., Резаев Р.О., Трифонов А.Ю., Шаповалов А.В. Численное моделирование одномерной популяционной динамики с нелокальным взаимодействием // Известия Томского университета. – 2009. – Т. 315, № 2. – С. 24–28.
4. Мороз Л.И. Численное решение одного класса начально-граничных задач для уравнения диффузии дробного порядка // Вестник Амурского гос. ун-та. – 2019. – Вып. 85. – С. 30–34.

В.О. Салмиянов, А.Г. Масловская

*Амурский государственный университет,
г. Благовещенск, Россия*

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ БАКТЕРИАЛЬНОЙ КУЛЬТУРЫ В ДИНАМИКЕ РОСТА НА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ*

На современном этапе теория самоорганизации представляет перспективное направление во многих прикладных областях для исследования объектов, обнаруживающих высокую степень самоупорядочения или, напротив, обладающих свойствами диссипативности и нерегулярности [1]. Алгоритмы фрактального анализа дают возможность количественно оценить степень структурированности сложных объектов в биологии и медицине. В микробиологических исследованиях одно из важнейших направлений представлено интеллектуальным фрактальным анализом растровых изображений популяций микроорганизмов. Применяемые алгоритмы фрактального анализа предоставляют инструменты для планирования экспериментов, оценки состояния популяций организмов, формализации факторов, коррелирующих с морфологическими особенностями, а также для управления внешними воздействиями, которые активизируют переход структур в альтернативные устойчивые состояния [2]. Целью настоящего исследования является установление мультифрактальных характеристик цифровых изображений, соответствующих геометрическим конфигурациям бактериальной колонии в процессе ее роста на питательной среде.

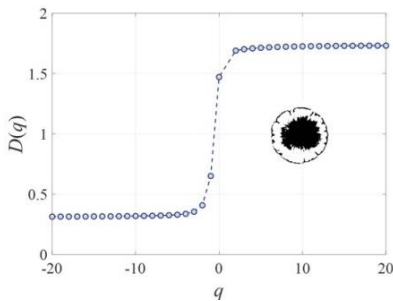
* Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 122082400001-8.

В контексте настоящего исследования применены фрактальный и мультифрактальный методы, основанные на параметризации морфологии структуры за счет сеточных покрытий бинаризованного изображения. Программная реализация фрактального метода («box-counting») и мультифрактального метода параметризации проведена в ППП Matlab. Для верификации работы программного приложения использованы тест-объекты – сгенерированные монофракталы с известными значениями скейлинговых характеристик.

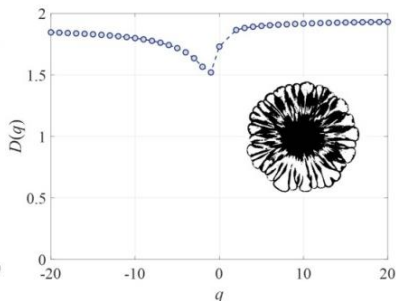
В качестве объекта исследования выбраны растровые изображения смешанной бактериальной культуры вида *E. Coli* и *A. Bayly* из последовательной серии эволюции при росте на питательной среде [3]. Предпроцессорная часть программного приложения ориентирована на загрузку исходного изображения в растровом формате и выполнение цветового преобразования в бинаризованный формат. Использован цветовой граничный коэффициент с вариацией гистограммы для ограничения цветового порога.

Проведение метода покрытий позволяет дать численную оценку значения фрактальной размерности D , которая увеличивалась в процессе эволюции этой культуры и соответствовала диапозону $D \in [1.55 - 1.85]$. Этот факт свидетельствует о последовательном усложнении геометрической конфигурации в связи с разрастанием колонии от центра по направлению к питательной среде.

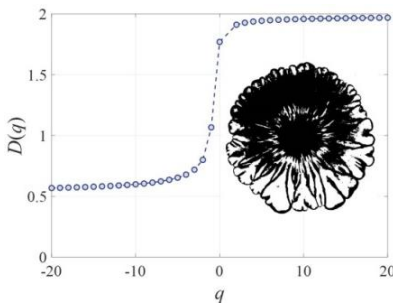
Так как исследуемые объекты имеют сложное строение, для более детальной характеристики изображения вычислены мультифрактальные характеристики: спектр фрактальных размерностей Реньи и скейлинговая экспонента [1]. Рисунок демонстрирует результаты расчета мультифрактальных характеристик для трех последовательных кадров, отражающих динамику роста бактериальной поликультуры *E. Coli* и *A. Bayly* [3]. Можно отметить, что на начальной и заключительной стадиях роста колония обнаруживала признаки мультифрактальности: скейлинговая характеристика не является прямолинейной и спектр Реньи характеризуется уширением. Однако в процессе эволюции геометрия колонии принимала также конфигурации, которые соответствовали монофрактальному строению. На рисунках (б), (д) можно видеть спрямление скейлинговой экспоненты и сужение спектра Реньи.



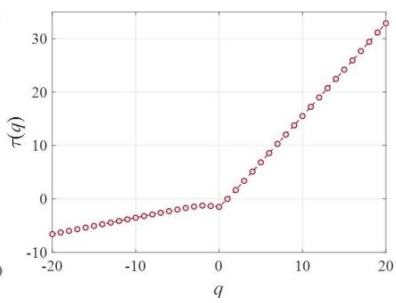
а



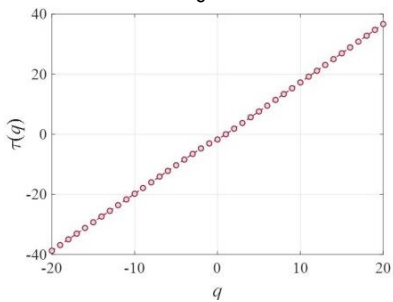
б



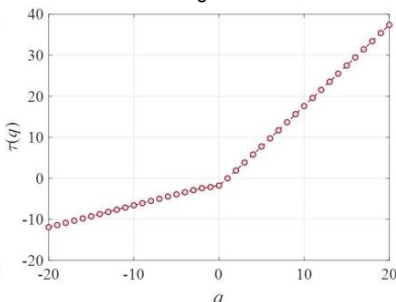
в



г



д



е

Мультифрактальные характеристики растрового изображения
 бактериальной поликультуры *E. Coli* и *A. Baumu* (на вставках, [4]):
 спектр размерностей Реньи (а) – (в) и скейлинговая экспонента (г) – (д)

Литература

1. Falconer K.J. Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications. – Chichester: John Wiley and Sons., 2014.
2. Paromita B., Jalpa S., Harsh P., Nirmalya G., Senguptaa T.K. Probing the fractal pattern and organization of *Bacillus thuringiensis* bacteria colonies

- growing under different conditions using quantitative spectral light scattering polarimetry // *J. of Biomed. Opt.* – 2013. – Vol. 18 (3). – P. 1–8.
3. *Liyang X., Cao Y., Cooper R., Rappel W.-J., Hasty J., Tsimring L.* Flower-like patterns in multi-species bacterial colonies // *Physics of Living Systems.* – 2020. – Vol. 9. – P. e48885(27).

С.К. Саруханян, А.Г. Масловская

*Амурский государственный университет,
г. Благовещенск, Россия*

ВАРИАЦИЯ РЕШЕТОК КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ В ЗАДАЧЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК*

В настоящее время в математической биологии и *in silico* исследованиях активно применяют концепции дискретно-динамического моделирования на основе клеточно-автоматного подхода для описания эволюции микроорганизмов [1; 2]. Основу алгоритмов клеточных автоматов составляют принципы организации дискретного пространства, представляющего собой совокупность плотно прилегающих друг к другу ячеек. Выбор геометрической структуры сетки для модели во многом определяет сложность вычислительного алгоритма и потенциальные результаты [3].

Многообразие клеточных автоматов определяется как поведенческими паттернами модели, так и структурными вариациями решетки. Популярная ортогональная решетка часто применяется с дополнительными условиями, позволяющими учитывать диагональных соседей, но с меньшей долей влияния на поведение рассматриваемой ячейки. Также применяют треугольную и гексагональную решетки. Каждая из сеток предполагает возможность полного замощения (составления паркета) для плоскости, что является одним из канонических требований к применению клеточных автоматов. Увеличение количества соседей позитивно сказывается на процессе моделирования за счет большего количества внутренних связей и взаимодействий внутри ав-

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

томата, позволяющих системе охватывать большее количество ячеек за меньший промежуток времени и принимать решения по поводу будущих состояний ячеек более взвешенно. Для сравнительного анализа будем применять модели четырех автоматов с треугольной, прямоугольной (с и без учета диагональных соседей) и гексагональной решетками. Для всех четырех вариаций решетки реализован следующий алгоритм моделирования роста биопленки.

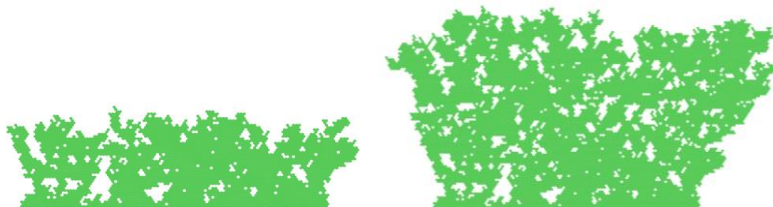
Введем в рассмотрение динамический конечный автомат, который формализуется тройкой объектов: $\langle X, A, \Theta \rangle$, где X – множество ячеек автомата, A – конечный набор состояний ячейки, а Θ – заданный список операторов перехода между различными состояниями, в зависимости от конфигурации ячеек. Определим множество ячеек как $X = \{[0,0],[1,0],\dots,[w,0],[0,1],\dots,[w,h]\}$, которое проиндексируем по базисным осям. Пусть w – ширина, а h – высота. Конечный набор состояний ячейки будет определяться как: $A = 0$ – пустая, $A = 1$ – заселенная. Набор правил $\Theta([x,y]) = (\theta_1([x,y]), \dots, \theta_n([x,y]))$ отражает логику перехода между состояниями клеточного автомата. Зададим функцию вероятности деления $p = p(n_i)$, определяющую вероятность занятия клеткой позиций ее соседей n_i . $p(n_i) = p_0$ для вертикального роста, $p(n_i) = p_0/\mu$ для горизонтального роста, $p(n_i) = p_0/\mu^2$ для роста в направлении обратном вертикальному, где p_0 – вероятность деления бактериальной клетки, а μ – коэффициент, отвечающий за учет ближних и дальних распространений. Правило деления бактериальных клеток в направлении n_i имеет вид:

$$\theta_{div}([x,y]): \left\{ \left([x,y], 1 \right), (n_i, 0) \right\} \xrightarrow{C_{div}} \left\{ \left([x,y], 1 \right), (n_i, 1) \right\},$$

где C_{div} – необходимые условия возможности деления клетки, которые формализуются с использованием параметров модели.

Алгоритм клеточно-автоматного моделирования реализован на языке программирования C# с использованием платформы

Unity. На рисунке показаны два последовательных фрагмента симуляции стадий роста бактериальной пленки на основе использования гексагональной решетки ($\mu = 1.5$).



Фрагменты имитационного моделирования роста биомассы с использованием гексагональной решетки

В результате проведенной серии вычислительных экспериментов можно заключить, что усложнение геометрии за счет перехода от ортогональной решетки к гексагональной позволяет получить более реалистичные конфигурации моделируемых структур биологических пленок.

Литература

1. *Picioreanu C., Kreft J.U., van Loosdrecht M.C.M.* Particle-based multidimensional multispecies biofilm model // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2004. – Vol. 70, no. 5. – P. 3024–3064.
2. *Саруханян С.К., Масловская А.Г.* Простейший клеточный автомат для моделирования поверхностного роста бактерий // *Вестник АмГУ. Серия «Естественные и экономические науки»*. – 2022. – Вып. 99. – С. 15–22.
3. *Бандман О.Л.* Клеточно-автоматные модели пространственной динамики // *Системная информатика*. – 2005. – Вып. 10. – С. 57–113.

А.П. Хмелёв, И.А. Шевкун, А.Г. Масловская

*Амурский государственный университет,
г. Благовещенск, Россия*

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЗМА ДИФФУЗИИ НА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННУЮ КОНФИГУРАЦИЮ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ПОПУЛЯЦИИ*

Одним из важнейших направлений математической биологии является развитие средств и методов моделирования популяционной динамики микроорганизмов. В числе важнейших объектов исследований можно выделить класс моделей биосистем – бактериальных сообществ [1–2]. Особенно актуальной является задача прогнозирования состояния популяций патогенных видов бактерий в естественных условиях и при воздействии внешних факторов в связи с развитием толерантности многих бактерий по отношению к действию антибактериальных препаратов. Настоящая работа направлена на установление особенностей эволюции популяции бактерий в зависимости от различных подходов к формализации диффузионных механизмов пространственно-временного распределения биомассы в рамках численной реализации детерминированной математической модели. В настоящем исследовании мы рассмотрим обобщенный подход, предложенный в работе [3]. Математическую модель формализуем в виде начально-краевой задачи для системы уравнений параболического типа, описывающей пространственно-временные распределения концентрации биомассы и концентрации питательной среды:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_c \Delta c - k_1 \frac{cm}{k_2 + c}, \quad \frac{\partial m}{\partial t} = D_m(m) \Delta m + k_3 \frac{k_1 cm}{k_2 + c} - k_3 k_4 m,$$

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

$$\begin{aligned}
& 0 < x < L, 0 < t < T, \\
& c(x, 0) = c_0, \\
m(x, 0) = & \begin{cases} m_0 \exp\left(-\frac{(x-L/2)^2}{\sigma}\right), & |x-L/2| \leq 0.05L, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} & 0 < x < L, \quad (1) \\
c(x, t)|_{x=L} = c_0, & \left. \frac{\partial c(x, t)}{\partial n} \right|_{\Gamma \setminus \{x=L\}} = 0, & \left. \frac{\partial m(x, t)}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0, & 0 < t < T,
\end{aligned}$$

где m – концентрация бактериальной биомассы, г/м³; c – концентрация питания, г/м³; $m_0 = 0.05m_{max}$ – максимальное значение концентрации биомассы, которое может обеспечить среда, г/м³; c_0 – начальное значение концентрации питательной среды, г/м³; D_c – коэффициент диффузии питательной среды, м²/день; $D_m(m)$ – коэффициент диффузии биомассы, м²/день; k_1 – скорость расхода питания, 1/день; k_2 – концентрация насыщения Моно, г/м³; k_1k_3 – максимальная скорость роста бактерий, 1/день; k_3k_4 – скорость оттока бактерий, 1/день; L – линейный размер области (ограниченный Γ), м.

Вычислительный алгоритм построен с использованием неявной конечно-разностной схемы и реализован в ППП Matlab. На основе вычислительных экспериментов проведено исследование влияния функциональной зависимости коэффициента диффузии биомассы бактерий на пространственно-временные распределения концентраций основных характеристик биосистемы. Рассмотрим функциональные зависимости: (i) – $D_m(m) = D$; (ii) – $D_m(m) = Dm^4/(m_{max} - m)^4$; (iii) – $D_m(m) = Dm^2/(10^8 + m^2)$.

На рисунке представлены результаты визуализации пространственно-временных распределений концентраций биомассы и питания.

Численный анализ показывает, что диффузионный компонент модели является доминирующим и вариация аналитического описания коэффициента диффузии бактерий приводит к изменению пространственно-временного распределения биомассы

(как уровня концентрации, так и характера координатного профиля) при незначительном влиянии на распределение питания.

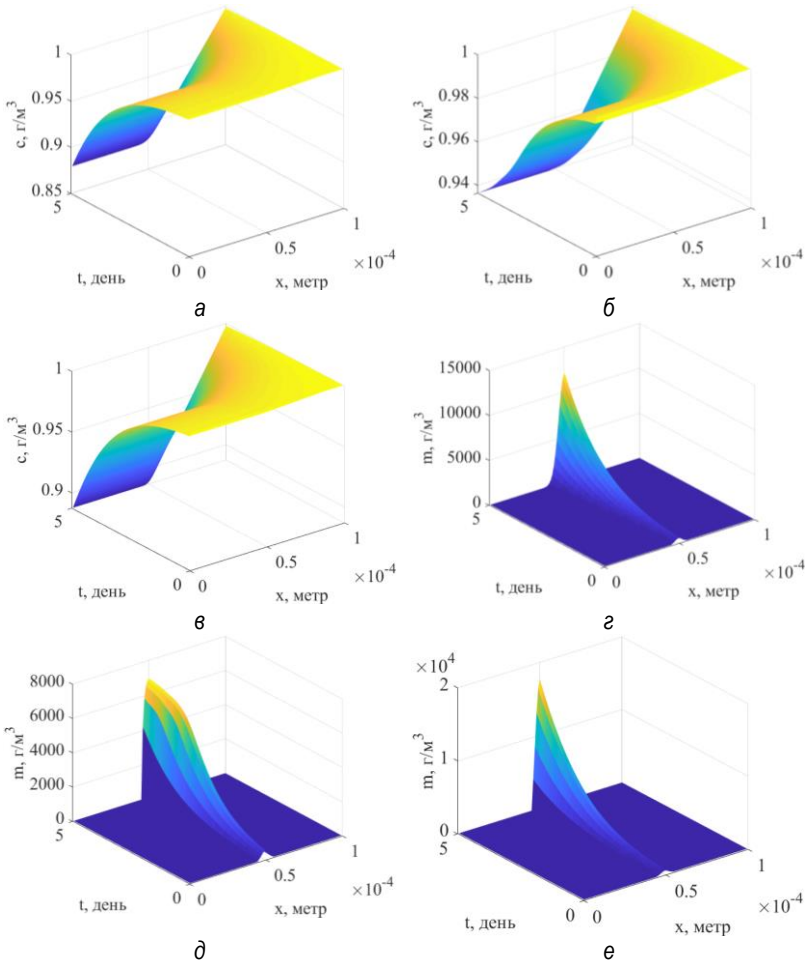


Рис. 1. Распределения концентраций питания (а) – (в) и биомассы (г) – (е) для различных представлений $D_m(m)$: (i) – (а), (г); (ii) – (б), (д); (iii) – (в), (е)

Литература

1. *Perez-Velazquez J., Gölgeci M., Garcia-Contreras R.* Mathematical modelling of bacterial quorum sensing: a review // *Bull. Math. Biol.* – 2016. – Vol. 76. – P. 1585–1639.
2. *Шуай И., Хмельёв А.П., Масловская А.Г.* Реакционно-диффузионная модель коммуникации бактерий с учетом вариации закона популяционного роста // *Вестник АмГУ. Серия «Естественные и экономические науки».* – 2021. – Вып. 93. – С. 14–23.
3. *Eberl H.J., Parker D.F., van Loosdrecht M.C.M.* A new deterministic spatio-temporal continuum model for biofilm development // *Comp. and Math. Meth. in Med.* – 2001. – Vol. 3. – P. 429794 (15).

В.Ю. Тавченко^{1,2}

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

²*Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
г. Омск, Россия*

ЦИКЛИЧЕСКИЕ РАСПИСАНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧИ МИНИМИЗАЦИИ ОБЩЕГО ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ ИДЕНТИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ*

В последнее время актуальность задачи минимизации общего времени обработки (критерий C_{max}) партии идентичных деталей возросла, в связи с использованием различных роботизированных высокоскоростных линий. Данная задача является одной из ключевых в теории расписаний как составная часть разнообразных производственных процессов. Из-за возможности оперативной настройки производственной линии на выпуск продукции большей номенклатуры, технологические маршруты становятся более сложными, и роль их оптимизации существенно возрастает. Можно использовать циклические расписания для построения приближенных решений задачи [1]. Однако вопрос о вычислительной сложности точных алгоритмов решения задачи минимизации общего времени обработки идентичных деталей остается открытым. Более сложным и важным является вопрос о вычислительной сложности, при дополнительных условиях на ограничение числа одновременно обрабатываемых деталей [2].

Расписание называется циклическим, если выполнение соответствующих операций любых двух последовательно обрабатываемых деталей происходит через промежуток времени, равный C , который называется длиной цикла. Циклические расписа-

* Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-71-10015, <https://rscf.ru/project/22-71-10015/>.

ния обеспечивают устойчивость производственного процесса, а также равномерный выпуск готовой продукции.

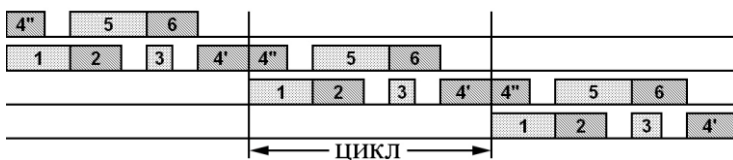
Но циклические расписания не обеспечивают минимум общего времени обработки деталей из-за совпадения минимальной длины цикла с суммой длительностей операций на самой загруженной машине. Попытка максимально загрузить эту машину приводит к ситуации, когда одновременно в системе находится много деталей и возникает простой оборудования. Приведем пример:

$$\begin{pmatrix} M_1 & M_2 & M_3 \dots M_n \\ p_1 & p_2 & p_3 \dots p_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 2 & 0 & 3 & \dots & 0 & k & 0 \\ 1 & p_2 & 1 & p_4 & 1 & p_6 & \dots & 1 & p_{2k} & 1 \end{pmatrix},$$

где $\sum_{i=1}^k p_{2i} < 1$. Здесь M_i – номер машины, на которой обрабатывается операция i , а p_i – длительность операции. Оптимальное значение длины цикла определяется загрузкой машины 0 и составляет $k + 1$. При этом обработка деталей растягивается на $k + 1$ цикл и время обработки каждой детали составит $(k + 1)^2$.

Данный пример важен при ограничении числа деталей, одновременно находящихся в обработке, некоторой величиной H . Для обеспечения наибольшей производительности линии необходимо запускать в производство сразу $k + 1$ деталь, и эта величина может существенно превосходить H .

Пример циклического расписания при $H = 2$ приведен на рисунке.



Циклическое расписание для $H = 2$

Гипотеза. При $H = 2$ циклическое расписание с минимальным временем цикла C после уплотнения дает оптимальное решение для критерия C_{max} .

Доказательство основывается на том, что при $H = 2$ операции, не вошедшие в основной цикл, удастся уплотнить и при этом

достигается нижняя оценка оптимального времени обработки партии деталей. При $H = 2$ задача полиномиально разрешима.

При $H = 3$, к сожалению, операции, не вошедшие в полный цикл, не всегда удается уплотнить до состояния, когда будет достигнута нижняя оценка. Кроме того, продолжается исследование вопроса о вычислительной сложности задачи построения оптимального циклического расписания для $H = 3$ [3].

Литература

1. *Boudoukh T., Penn M., Weiss G.* Scheduling jobshops with some identical or similar jobs // *Journal of Scheduling*. – 2001. – Vol. 4. – P.177–199.
2. *Боброва Е.А., Романова А.А., Сервах В.В.* Сложность задачи построения циклических расписаний обработки однотипных деталей // *Дискретн. анализ и исслед. опер.* – 2013. – Т. 20, № 4. – С. 3–14.
3. *Сервах В.В., Тавченко В.Ю.* Минимизация времени обработки идентичных деталей и циклические расписания // *Материалы XII Международной молодежной научно-практической конференции с элементами научной школы.* – 2022. – С. 28–29.

И.С. Хмара

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

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ЛОКАЛЬНОГО ПОИСКА ДЛЯ РОБАСТНОЙ ЗАДАЧИ О p -МЕДИАНЕ

Задачи размещения возникают в различных сферах человеческой жизни, где требуется расположить объекты, получив максимальную прибыль или затратив минимальное количество средств. Существует большое количество разных математических постановок, которые можно отнести к задачам размещения.

В этой статье рассматривается робастный вариант задачи о p -медиане. Он представляет собой современную постановку классической задачи о p -медиане, учитывающий возможные изменения условий задачи [1]. Классическая задача хорошо известна, актуальна и представляет собой задачу кластеризации, которая возникает во многих приложениях, например, при работе с большими данными. Задача о p -медиане заключается в том, что необходимо открыть p предприятий таким образом, чтобы суммарные затраты на обслуживание всех клиентов были минимальны [2]. Зачастую возникают ситуации, когда спрос клиентов является нестабильным. Тогда необходима оптимизация некоторой меры устойчивости (робастности), связанной со спросом. В работе представлена робастная постановка задачи о p -медиане, где оптимизируется устойчивость, связанная со спросом клиентов. Существуют различные понятия робастности, мы развиваем подход, предложенный в работе [1].

Для решения робастной задачи о p -медиане предлагается алгоритм локального поиска с запретами. Этот алгоритм впервые был представлен Ф. Гловером в 1997 г. и успешно применяется при решении различных прикладных задач [3]. В данной работе

предложен новый вариант алгоритма поиска с запретами, учитывающий особенности рассматриваемой задачи. Проводятся экспериментальные исследования и обсуждаются их результаты.

Литература

1. *Carrizosa E., Ushakov A., Vasilyev I.* Threshold robustness in discrete facility location problems: a bi-objective approach. *Optim. Lett.* – 2015. – Vol. 9. – P. 1297–1314.
2. *Pitu B. Mirchandani, Richard L. Francis.* *Discrete Location Theory. Pt. 3.* – P. 119–171.
3. *Glover F., Laguna M., Marti R.* *Tabu Search.* – Springer New York, NY, 2008. – DOI: 10.1007/978-1-4615-6089-0.

С.Н. Чуканов¹, И.С. Чуканов², С.В. Лейхтер³

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

*²Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

*³Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
г. Омск, Россия*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ИЗОБРАЖЕНИЯМИ НА ОСНОВЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ*

В последние годы возрос интерес к использованию методов алгебраической топологии для топологического анализа данных [1; 2] и применению в различных областях знаний. Целью топологического анализа данных является определение информативных топологических свойств и использование их в качестве дескрипторов.

Использование традиционных методов алгебраической топологии для получения информации о форме объекта связано с проблемой формирования малого количества информации: чисел Бетти и характеристик Эйлера.

Основным инструментом топологического анализа данных является метод персистентной гомологий, который суммирует геометрическую и топологическую информацию в данных. Использование методов персистентной гомологии по отношению к традиционным методам алгебраической топологии дает дополнительную информацию о форме объекта. Применение методов топологического анализа данных для сложных систем большой размерности затруднено из-за методов адекватного представления

* Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных научных исследований СО РАН I.5.1., проект № 0314-2019-0020 и Российского научного фонда, грант № 22-21-00035.

функций, так как формирование баркодов не обеспечивает функциональную зависимость. Геометрический анализ характеризует локальную структуру, но приводит к сложности представления данных. Элементы, полученные из топологических моделей, определяют глобальную внутреннюю структурную информацию, но редуцируют много локальной структурной информации [3].

Для повышения производительности моделей топологического анализа данных необходимо ввести функциональные возможности, способные сохранить внутреннюю информацию данных и уменьшить размерность данных.

Построение персистентных баркодов и персистентных диаграмм в вычислительной топологии не позволяет построить гильбертово пространство со скалярным произведением. Возможность применения методов топологического анализа данных основана на отображении персистентных диаграмм в гильбертово пространство; одним из способов такого отображения является метод построения функций персистентного ландшафта. Рассмотрены методы преобразования персистентных баркодов и персистентных диаграмм в функции персистентного ландшафта. С функциями персистентного ландшафта ассоциируется ядро персистентного ландшафта, которое формирует отображение в гильбертово пространство со скалярным произведением. Предложена формула для определения расстояния между персистентными ландшафтами, которая позволяет находить расстояния между изображениями объектов. Нахождение расстояния между объектами (изображениями) с использованием функций персистентного ландшафта значительно уменьшает объем вычислительных операций по сравнению методом нахождения расстояния по формуле Л. Вассерштейна [2].

Модели построения функций персистентных ландшафтов для определения расстояния между изображениями приведены в работах авторов [4; 5].

Литература

1. *Carlsson G.* Topology and data // Bulletin of the American Mathematical Society. – 2009. – Vol. 46, no. 2. – P. 255–308.
2. *Edelsbrunner H., Harer J. L.* Computational topology: an introduction. – American Mathematical Society. – 2010.

3. *Hatcher A.* Algebraic Topology. – Cambridge UP, 2005.
4. *Чуканов С.Н., Чуканов И.С., Лейхтер С.В.* Формирование признаков машинного обучения на основе методов вычислительной топологии // Математические структуры и моделирование. – 2022. – Т. 64, № 4. – С. 89–99.
5. *Chukanov S.N.* The Comparison of Diffeomorphic Images based on the Construction of Persistent Homology // Automatic Control and Computer Sciences. – 2020. – Vol. 54, no. 7. – P. 758–771.

Ю.В. Захарова, А.О. Захаров

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

**О ДВУХКРИТЕРИАЛЬНОМ ПОДХОДЕ
К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЙ
НА ОДНОЙ МАШИНЕ
С НЕЧЕТКИМИ ИСХОДНЫМИ ДАННЫМИ***

Рассматривается задача составления расписаний работ на одной машине. Каждая работа j характеризуется длительностью p_j , директивным сроком d_j , весовым коэффициентом w_j . Задача исследуется на примере двух критериев: суммарное взвешенное запаздывание $\sum w_j T_j = \sum w_j \max\{C_j - d_j; 0\}$ и взвешенное число запаздывающих работ $\sum w_j U_j$. Здесь C_j – момент окончания работы j , U_j – индикатор запаздывания работы ($U_j = 1$, если $C_j > d_j$, 0 – иначе).

На практике часто возникают случаи, когда исходные данные не определены точно. Это может быть обусловлено многими неконтролируемыми факторами, такими как время распределения ресурсов, гибкость машин и человеческий фактор. В результате вызывает сложность выразить точным числовым значением определенные параметры, например, время обработки деталей и стоимость операций, длительность перемещения между точками объекта на фактическом производственном предприятии, системы маршрутизации и другие. Исследуются, например, подходы, основанные на робастной оптимизации [1], стохастических постановках [2] и нечеткой оптимизации [5; 6].

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-71-10015, <https://rscf.ru/project/22-71-10015/>.

В задачах нечеткой оптимизации оценка значений входных данных осуществляется на основе заключений экспертов. Впервые нечеткая логика была введена Л. А. Заде (см., например, [6]). Здесь входные данные представляются нечеткими числами, построенными на основе оценок экспертов, где для каждого элемента задана степень принадлежности множеству действительных чисел. Степень принадлежности принимает значения от 0 до 1. Распространенными нечеткими числами являются треугольные и трапециевидные нечеткие числа [5; 6], задаваемые соответственно функциями принадлежности $\mu_A(x)$ и $\mu_B(x)$ вида:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x < c, \\ 0, & x \geq c. \end{cases} \quad \mu_B(x) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b, \\ 1, & b \leq x < c, \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x < d, \\ 0, & x \geq d. \end{cases}$$

В настоящей работе задача составления расписаний на одной машине с нечеткими весами работ в виде треугольных чисел формулируется как задача оптимизации с двумя критериями, где одним из критериев выступает метрика из теории расписаний, а вторая целевая функция определяет степень принадлежности.

Обсуждаются подходы к построению множества Парето и его аппроксимации, основанные на поэтапном объединении треугольников с учетом свойств доминирования по Парето и свойств нечетких треугольных чисел. В случае реальных исходных данных множество Парето может быть большой мощности, в связи с этим исследуется степень его сужения при задании дополнительного кванта информации от лица принимающего решения [5]. Принимаются во внимание особенности задачи и их связь с задачами выбора подмножеств элементов [3; 7]. Строятся серии примеров различной структуры.

Литература

1. *Carrizosa E., Ushakov A., Vasilyev I.* Threshold robustness in discrete facility location problems: a bi-objective approach // *Optim. Lett.* – 2015. – Vol. 9. – P. 1297–1314.
2. *Kibzun A., Naumov A., Norkin V.* On reducing a quantile optimization problem with discrete distribution to a mixed integer programming problem // *Automation and Remote Control.* – 2013. – Vol. 74. – P. 951–967.
3. *Kumar A., Gupta A.* Methods for solving fuzzy assignment problems and fuzzy travelling salesman problems with different membership functions // *Fuzzy Inf. Eng.* – 2011. – Vol. 1. – P. 3–21.
4. *Noghin V.D.* Reduction of the Pareto Set: An Axiomatic Approach // Springer International Publishing. – 2018
5. *Slowinski R., Hapke M.* (eds.) Scheduling Under Fuzziness // Physica-Verlag Heidelberg. – 2000.
6. *Zadeh L.A.* Fuzzy sets // *Information and Control.* – 1965. – Vol. 8. – P. 338–353.
7. *Zakharov A., Zakharova Y.* On investigation of crisp bi-objective formulations for fuzzy traveling salesman problem and fuzzy p-median problem // *Applied Mechanics and Systems Dynamics (AMSD). Journal of Physics: Conference Series.* – 2022. – Vol. 2182. – P. 1–8.

В.В. Гольтяпин¹, Е.А. Лапенко², М.Г. Потуданская²

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

²*Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
г. Омск, Россия*

**ФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ
ТВОРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СТУДЕНТОВ
НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ
«БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»
В ОмГУ им. Ф.М. ДОСТОЕВСКОГО**

Цель работы – построение факторной модели, характеризующей развитие творческого потенциала у студентов направления «Биотехнические системы и технологии», используемой для выявления необходимости корректировки образовательного процесса, позволяющей повысить качество подготовки выпускников данного направления в рамках ОмГУ.

В данном исследовании творческий потенциал рассматривался как внутренняя структура личности, направленная на самореализацию не только творческих способностей, но и формирование компетенций в той или иной сфере будущей профессиональной деятельности [1].

Среди студентов 1–4 курсов физического факультета ОмГУ им. Ф.М. Достоевского направления «Биотехнические системы и технологии» было проведено тестирование в соответствии с методикой диагностики творческой креативности автора Е.Е. Туник (1 курс – 23, 2 курс – 20, 3 курс – 14, 4 курс – 16 человек) [2]. Результаты тестирования были подвергнуты факторному анализу.

Факторное исследование проводилось последовательно согласно нижеследующей схеме.

$$Y_{mn} \rightarrow Z_{mn} \rightarrow R_{mm} \rightarrow \frac{\lambda}{U} \rightarrow A_{mr} \rightarrow V_{mr},$$

где $\mathbf{Y} = (y_{ij})$ – матрица исходных данных, $\mathbf{Z} = (z_{il})$ – матрица стандартизованных исходных данных, $\mathbf{R} = (r_{ik})$ – корреляционная матрица, λ – матрица собственных значений и \mathbf{U} – матрица собственных векторов матрицы \mathbf{R} , $\mathbf{A} = (\alpha_{il})$ – матрица отображения, элементами которой являются факторные нагрузки, $\mathbf{V} = (v_{il})$ – факторная структура после варимакс вращения [3].

Рассматривались две модели:

1. Проводился факторный анализ всей совокупности отвечавших студентов направления «Биотехнические системы и технологии»;

2. Отдельно рассматривались данные для каждой из анализируемых групп.

В результате, для общей группы было выявлено 20 индивидуальных факторов, вклад в которые вносили ответы только на один вопрос теста. Были определены вопросы тестирования, которые оказались незначимыми с точки зрения студентов данного направления. Эти вопросы относятся ко всем критериям теста: критерию на любознательность, склонность к риску, сложность и воображение.

Анализ матриц весовых нагрузок, полученных для различных курсов, показал, что ряд параметров по мере обучения вносят все больший вклад в формирование выделенных факторов. Например, растёт, выделяемая в группах по мере взросления, весовая нагрузка параметра, связанного с четким планированием своей деятельности. Для студентов первого курса этот параметр не входит со значимой весовой нагрузкой ни в один фактор, далее значимость параметра существенно увеличивается. Параметр, отвечающий за оценку результатов своей деятельности в факторной структуре старших курсов, также становится более значимым и формирует один из факторов вместе с параметрами, отвечающими за интерес к научной деятельности и в целом к познанию нового.

Таким образом, анализ факторной структуры, для выпускников, позволяет косвенно оценить степень сформированности компетенций, заявленных в основной образовательной программе конкретного вуза. Изучение динамики матрицы весовых

нагрузок, наблюдающееся при анализе ответов студентов различных курсов на вопросы, предложенные при тестировании, может помочь в корректировке мероприятий, направленных на формирование заявленных компетенций.

Литература

1. Тамочкина О.А. Развитие творческого потенциала личности как фактор оптимизации профессиональной подготовки выпускников вузов // Вектор науки ТГУ. Серия: Педагогика, психология. – 2017. – № 4 (31).
2. Туник Е.Е. Диагностика личностной креативности // Фетискин Н.П., Козлов В.В., Мануйлов Г.М. Социально-психологическая диагностика развития личности и малых групп. – М., 2002. – С. 59–64.
3. Гольтяпин В.В., Кондратьева Н.А., Готов А.В., Федорова Т.Н. Построение диагностической шкалы синдрома обструктивного апноэ сна с помощью факторного анализа // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов VIII Международной научной конференции, посвященной памяти А.Л. Иозефера. – Омск, 2020. – С. 148–150.

О.В. Корчинская, И.П. Иванова, В.Г. Емельянова

*Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина,
г. Омск, Россия*

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЕЛЕКЦИИ МОЛОЧНОГО СКОТА

Селекционер ежедневно в рамках своих должностных обязанностей сталкивается с достаточным объемом различных показателей, которыми характеризуются животных [2]. Это данные зоотехнического учета, включающие в себя постоянный мониторинг физиологических процессов, таких как показатели здоровья: активность животного, руминация, удои. Селекционная работа заключается в выявлении лучших животных из популяции и активное их использование в воспроизводстве. Современный процесс селекции животных основывается на анализе большого количества данных, который требует большого количества времени [1; 2]. Ускорить процесс анализа информации биологических процессов можно применив математическое моделирование.

Рассмотрим применение математического моделирования в определении зависимости степени инбридинга, возраста и уровня молочной продуктивности коров в стаде.

Разработку математической модели селекционного процесса и построение поверхности отклика осуществляли с использованием программного продукта «TableCurve 3D». При математическом моделировании реализованы методы анализа временных рядов, регрессионного, кластерного и факторного анализов и многомерного шкалирования [1; 3].

Разработанная математическая модель, описывает изменение продуктивности коров в зависимости от их возраста и уровня инбридинга и представлена уравнением регрессии:

$$z = a + b \cdot x + c/y, \quad (1)$$

где x – инбридинг, %; y – возраст коров, лактация; z – удой, кг.

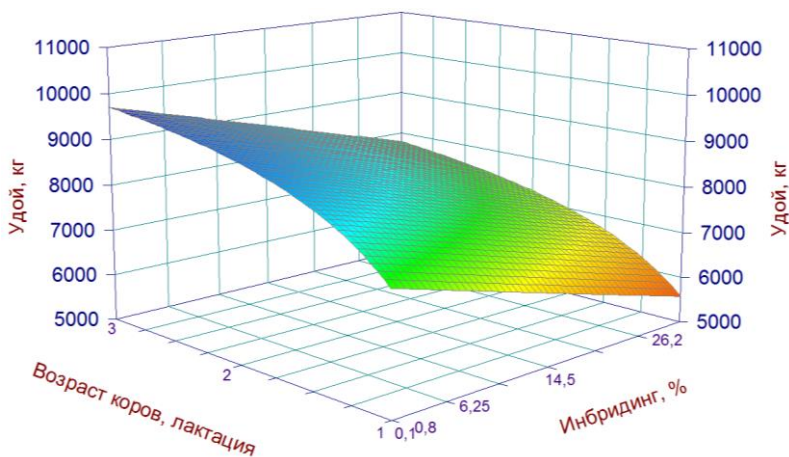
Коэффициенты уравнения регрессии (1) представлены в таблице.

Таблица 1

Расчетные коэффициенты уравнения регрессии

Коэффициенты	Значение	Коэффициент детерминации (R^2)
a	10802,99	0,81
b	-64,15	
c	-3303,97	

Поверхность отклика зависимости удоя от исследуемых факторов (возраст коров и величина инбридинга) представлена на рисунке.



Поверхность отклика зависимости удоя от исследуемых факторов

Таким образом, построив математическую модель, можем заключить, что наилучшей продуктивностью обладают коровы более старшего возраста (3 лактация) и с минимальными значениями коэффициента инбридинга. Визуализация математической модели в виде трехмерного графика позволяет селекционеру отобрать для дальнейшего разведения коров с определенными

параметрами, а именно: возраст – старше 3 лактации; коэффициент инбридинга – не более 6,25 %.

Литература

1. *Петраков Н.С.* Особенности математического моделирования, характеристики и классификации математических моделей // *Modern Science*. – 2021. – № 12-2. – С. 393–395.
2. *Григорьев М.Е., Гаврилова Ю.С., Иванова И.П., Корчинская О.В.* Повышение конкурентоспособности предприятия с помощью математического моделирования селекционного процесса // Роль научно-исследовательской работы обучающихся в развитии АПК: сборник Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Омск, 18 февраля 2021 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2021. – С. 545–549.
3. *Приходько А.П.* Модели в биологии: масштабы и сложность // *Актуальные научные исследования в современном мире*. – 2021. – № 6-8 (74). – С. 19–22.

В.А. Федорук

*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет,
г. Омск, Россия*

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ КУБИЧЕСКИМИ СПЛАЙНАМИ С ПОМОЩЬЮ «МЕТОДИКИ СДВИГА»

Программа «CubeSplineShift-v1.0» [1] для обработки полученных экспериментальных данных написана на языке Microsoft Fortran PowerStation 4.0 [2] и использует интерполяцию кубическими сплайнами в сочетании с «методикой сдвига» [3].

Эта методика позволяет находить значения интерполируемой функции $y_i^{ko_shift} = f(x_i^{ko_shift})$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, в узлах $x_i^{ko_shift}$ со сдвигом по отношению к экспериментальным данным $y_i^0 = f(x_i^0)$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$ (коэффициент сдвига $ko_shift = 0$ соответствует отсутствию сдвига). При $ko_shift = 0$ программа «CubeSplineShift-v1.0» работает в стандартном режиме (без сдвига) и позволяет получать дополнительные точки на каждом из отрезков $\Delta x_i^0 = x_{i+1}^0 - x_i^0$, $i = 1, 2, 3, \dots, N - 1$ (между ближайшими узлами табличных данных x_i^0 и x_{i+1}^0). Количество дополнительных точек определяется коэффициентом ko_add по формуле

$$ko_add = ko_div - 1,$$

где ko_div – коэффициент деления отрезка на части (например, при $ko_div = 2$ отрезок делится на две равные части).

Общее число пар данных – экспериментальных N и дополнительных (полученных путём расчёта), определяется как их сумма:

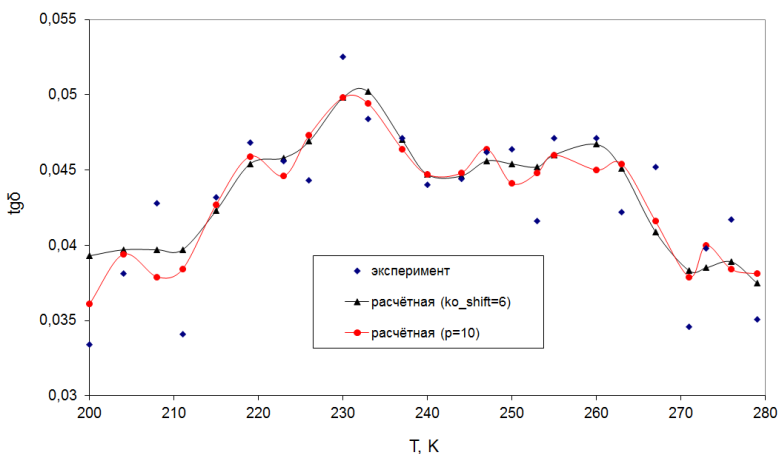
$$N_o = N + (N - 1) \cdot ko_add.$$

В отличие от стандартных программ, использующих интерполяцию сплайнами, программа «CubeSplineShift-v1.0» [1] позволяет:

1) работать с большим числом экспериментальных данных, что достигается путём разбиения всего массива данных на части с последовательной их обработкой;

2) получать дополнительные расчётные точки (их количество задаётся пользователем) между двумя соседними экспериментальными точками;

3) повторять необходимое количество раз п. 2 (определяется пользователем), используя в качестве входных данных на следующем шаге данные, полученные в предыдущем пункте, тем самым достигается циклическая смена узлов интерполирования, что позволяет лучше интерполировать экспериментальную кривую, так как экспериментальные данные (точки на кривой) изначально получены с определённой погрешностью, причём внутри доверительного интервала они распределяются случайным образом и их жёсткая привязка к узлам интерполирования не позволяет достичь той гибкости, которая необходима для получения наилучшего результата при «сглаживании» случайных ошибок.



Результаты применения «методики сдвига» ($ko_shift=6$) и метода сплайн-сглаживания ($\rho=10$)

В статье [4], на примере спектра внутреннего трения $tg\delta = f(T)$ для ЭП УП-643 в области γ -релаксации (см. рисунок), показано повышение эффективности обработки экспериментальных данных с помощью «методики сдвига», по сравнению с хорошо известным и широко распространённым методом сплайн-сглаживания [5], использующего сглаживающие сплайны.

Литература

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019617042 РФ. Программа «CubeSplineShift-v1.0» для обработки экспериментальных данных кубическими сплайнами с использованием «методики сдвига» / В.А. Федорук; правообладатель СибАДИ. – № 2019616087: заявл. 27.05.2019; опублик. 03.06.2019.
2. *Бартенев О.В.* Современный Фортран. – М.: Диалог-МИФИ, 1998.
3. *Федорук В.А.* Обработка экспериментальных данных на основе «методики сдвига» при интерполяции кубическими сплайнами // Вестник СибАДИ. – 2016. – Вып. 2 (48). – С. 132–136.
4. *Федорук В.А.* Повышение эффективности обработки экспериментальных данных при интерполяции кубическими сплайнами с помощью «методики сдвига» // Вестник СибАДИ. – 2018. – Вып. 2. – Т. 15. – С. 306–314.
5. *Носач В.В.* Решение задач аппроксимации с помощью персональных компьютеров. – М.: МИКАП, 1994.

Е.О. Филонова, Т.Е. Болдовская

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

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА БЕЗРАБОТИЦУ В ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящий момент безработица является одним из факторов, оказывающих влияние на социально-экономическую ситуацию в любом регионе России. Целью работы было изучение факторов, влияющих на безработицу в Омской области. Исследование проводилось с помощью программы «IBM SPSS Statistics», с помощью которой была построена линейная модель множественной регрессии [1; 2]. Для анализа были выбраны следующие параметры: размер МРОТа (Q_1), коэффициент миграционного прироста (Q_2), среднемесячная номинальная начисленная заработная плата (Q_3), заболеваемость (Q_4), потребность в работниках, заявленная организациями (Q_5). Информационная база исследования включала официальные данные Федеральной службы государственной статистики (Росстат, Омкстат) [3].

Построение регрессионной модели

Модель	Нестандартизованные коэффициенты	
	B	Стандартная Ошибка
(Константа)	18,352	4,921
Размер МРОТа	,008	,000
Коэффициент миграционного прироста	,029	,024
Среднемесячная номинальная начисленная з/п	-,002	,001
Заболеваемость	-,009	,005
Потребность в работниках, заявленная организациями	,162	,091

Уравнение регрессии:

$$Y = 18,352 + 0,008 \cdot Q_1 + 0,029 \cdot Q_2 - 0,002 \cdot Q_3 - 0,009 \cdot Q_4 + 0,162 \cdot Q_5,$$

где Y – уровень безработицы в Омской области за 2000–2022 гг.

Описание качества полученной модели

Модель	R	R-квадрат	Скорректированный R-квадрат	Стандартная ошибка оценки
1	,835 ^a	,697	,602	1,07253

Значимость модели.

Коэффициент множественной детерминации R-квадрат показывает, какую долю изменчивости зависимой переменной (Y) объясняет независимая переменная (регрессионная модель). В нашем случае – мера R-квадрат составляет 0,697, что говорит о том, что с помощью предикторных переменных можно объяснить около 70 % вариации уровня безработицы.

Модель	Сумма квадратов	ст.св.	Средний квадрат	F	Знач.
1 Регрессия	42,324	5	8,465	7,359	,001 ^b
Остаток	18,405	16	1,150		
Всего	60,730	21			

Уровень значимости данной регрессионной модели составляет 0,001, что менее 0,05, как минимум один коэффициент регрессии нулю не равен.

Значимость коэффициентов.

Модель	Нестандартизованные коэффициенты		Стандартизованные коэффициенты	t	Знач.
	B	Стандартная Ошибка	Бета		
(Константа)	18,352	4,921		3,729	,002
Размер МРОТа	,008	,000	,019	,083	,935
Коэффициент миграционного прироста	,029	,024	,374	1,217	,241
Среднемесячная номинальная начисленная з/п	-,002	,001	-1,601	-2,923	,010
Заболеваемость	-,009	,005	-,360	-1,752	,099
Потребность в работниках, заявленная организациями	,162	,091	,964	1,778	,094

Проведенный анализ модели показал, что статистически значимой переменной является только «Средняя номинальная начисленная заработная плата» ($p = 0,01$). Менее значимыми являются переменные «заболеваемость» ($p = 0,099$) и «Потребность в работниках, заявленной организациями» ($p = 0,094$).

Для дальнейших исследований полученная модель будет подкорректирована для получения более достоверных и значимых результатов.

Литература

1. Бююль А., Цеффель П. SPSS: искусство обработки информации. – М., 2005.
2. Наследов А. IBM SPSS Statistics 20 и AMOS: профессиональный статистический анализ данных. – СПб., 2013.
3. Регионы России. Социально-экономические показатели // Федеральная служба государственной статистики. – М.: Росстат, 2008–2020. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 25.10.2022 г.).

УДК 537.533:621.3.032.26

Д.А. Антонович, Д.В. Шидловская

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ИОННО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ В ИСТОЧНИКАХ С ПЛАЗМЕННЫМ ЭМИТТЕРОМ

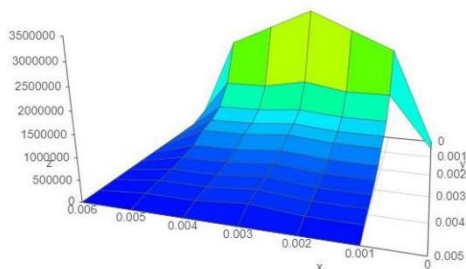
В связи с расширением области применения плазмохимических технологий, таких как ионно-плазменное азотирование, электронно-лучевое диспергирование и др., интерес к получению низкоэнергетичных пучков заряженных частиц с энергией до 5 кэВ достаточно высок [1; 2]. Подобные технологии, как правило, сопровождаются достаточно интенсивным газоотделением и предполагают воздействие на поверхности достаточно большой площади с высокой степенью однородности энерговклада в изделие. Поэтому реализация подобных технологий с помощью низкоэнергетичных плазменных источников представляется наиболее эффективной, а в ряде случаев единственно возможной. Способность плазменных источников заряженных частиц, формировать как электронные, так и ионные пучки делает их уникальным универсальным инструментом, и перспективными к разработке на их основе технологий нанесения пленок и покрытий различного назначения методами попеременного или одновременного теплофизического электронного и модифицирующего ионного воздействия.

К настоящему времени конструктивные особенности и особенности формирования пучков при ускоряющих напряжениях до 5кВ изучены недостаточно. При формировании низкоэнергетичных электронных пучков более существенное, в сравнении с высокоэнергетичными источниками, влияние оказывают накопительные ионизационные эффекты в ускоряющем промежутке, поскольку область интенсивной ионизации оказывается значительно шире, а эффективность потерь энергии выше. Что может приводить, к ухудшению технологических параметров (стабильность эмиссии, плотность мощности) формируемых пучков заряженных частиц. Одним из перспективных направлений улучшения технологических параметров формируемых пучков заряженных частиц представляется возможность формирования двойных электрических слоев в плазме и ускорение в них зарядов. Построение адекватных физико-математических моделей процессов формирования низкоэнергетичных ионно-электронных пучков в источниках заряженных частиц с плазменным эмиттером и разработка эффективных алгоритмов компьютерного моделирования позволит уменьшить объем экспериментальных работ по разработке конструкций низкоэнергетичных источников заряженных частиц с плазменным эмиттером.

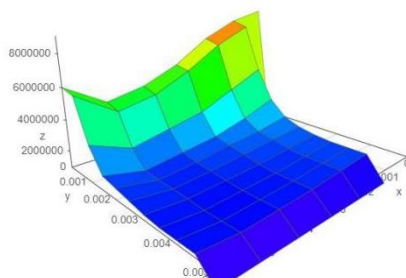
В результате проделанной работы было показано [3], что одним из возможных способов формирования совмещённых пучков ионов и электронов в плазменных источниках заряженных частиц, является создание такой газоразрядной структуры, в плазме которой формируется два последовательно расположенных электрических слоя. Одним из слоёв обеспечивается поток зарядов (ионов или электронов) в другой электрический слой, который обеспечивает поток зарядов другого типа в том же направлении, что и поток зарядов из первоначального слоя и одновременно является «прозрачным» для потока зарядов из первого электрического слоя.

Для предложенной конструкции была разработана физико-математическая модель и на ее основе программа расчёта, позволяющая осуществлять предварительное моделирование параметров формируемых пучков заряженных частиц, в зависимости от конструктивных особенностей ускоряющего промежутка источ-

ника, что позволяет спрогнозировать ожидаемые параметры формируемых пучков заряженных частиц и упрощает конструирование новых аналогичных систем с плазменным эмиттером. Разработанная программа, позволяет расчет указанных параметров в автоматическом режиме для различных входных значений из «типичного» диапазона входных значений. Разработан графический интерфейс для пользователя программы, а результаты моделирования представляются в виде трехмерных зависимостей, примеры которых представлены на рисунке.



а)



б)

Примеры визуализации рассчитанных параметров:
а – концентрация; б – скорость эмитируемых электронов

Литература

1. Барченко В.Т. Плазменные эмиссионные системы с ненакаливаемыми катодами для ионно-плазменных технологий. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – 220 с.
2. Antonovich D.A., Gruzdev V.A., Zalesski V.G., Pobol I.L., Soldatenko P.N. Plasma emission systems for electron and ion-beams technologies // High

- Temperature Material Processes (An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes). – 2017. – Vol. 21, iss. 2. – P. 143–159.
3. *Груздев В.А., Антонович Д.А., Залесский В.Г., Голубев Ю.П., Солдатенко П.Н.* Плазменный источник электронно-ионных пучков: пат. на изобретение 23743 Респ.Беларусь МПК Н 01J 37/30 «Плазменный источник электронно-ионных пучков» // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2022. – № 3 (146). – С. 65.

А.У. Касимова, С.Н. Верзунов

*Институт машиноведения и автоматики
Национальной академии наук КР,
г. Бишкек, Кыргызская Республика*

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПРЕСС АНАЛИЗА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР ГЕОМАТЕРИАЛОВ

Измерение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в микроволновом диапазоне является актуальной задачей во многих областях фундаментальных и прикладных исследований [1; 3]. Данные о диэлектрических характеристиках природных минералов могут быть полезны в таких областях, как геология, сейсмология, горнодобывающая промышленность, и т. п. Экспериментальные данные о комплексной диэлектрической проницаемости (КДП), определяемой в широком частотном диапазоне, позволяют создавать и тестировать спектроскопические модели почв и горных пород, исследовать многочастотные релаксационные процессы [1].

В настоящее время существует множество методов по измерению диэлектрических свойств материалов, однако не все они подходят для решения данной конкретной проблемы [1]. Согласно [1], все эти методы можно разделить на несколько групп: резонансные, коаксиальные и волноводные, широкополосные, методы, основанные на использовании волн в свободном пространстве, а также неразрушающие методы. Проанализировав все существующие методы, авторы рекомендуют метод свободного пространства как наиболее подходящий метод измерения, по следующим причинам: не требуется обработка материалов; размеры образцов могут быть достаточно большими; можно использовать при высоких температурах; отсутствие механического контакта с образцом; возможность измерения магнитных материалов.

Метод свободного пространства основан на использовании антенн для фокусировки энергии на образце или пропускании энергии через него [1]. Авторы предлагают использовать микрополосковые антенны на метаматериалах. Конструкции микрополосковых антенн широко описаны в литературе и дают хорошие результаты на практике. Однако, поскольку сами по себе они отличаются низкой эффективностью и ограниченной полосой пропускания, часто приходится оптимизировать конструкцию, изменяя ее параметры и улучшая технические характеристики. Один из способов добиться этого дает применение метаматериалов. Однако особенности ячеек метаматериала и их массива делает аналитическую разработку уравнений электромагнитного поля очень сложной и нецелесообразной. Обычно эту проблему решают путем разработки антенны с помощью множества дорогостоящих в вычислительном отношении и трудоемких электромагнитных симуляций. В работе [2] предлагается новый способ, позволяющий оптимизировать параметры CSRR-ячеек резонаторов, взаимное функционирование которых будет обеспечивать оптимальный режим работы антенны в целом и даст максимальный уровень излучения антенны при сохранении полосы пропускания. Предлагаемый метод объединяет модель регрессии, использующую глубокую сеть на основе полносвязных нейронных слоев, с поиском на основе алгоритма условной оптимизации COBYLA для нахождения наилучших конструктивных параметров ячеек-резонаторов. Вначале тензор, определяющий параметры ячеек-резонаторов, подается на вход нейронной сети, и сеть обучается, чтобы уменьшить разницу между выходом, предсказанным глубокой нейронной сетью, и соответствующими электрическими параметрами антенны, полученными в результате полноценного численного моделирования в программе CST MWS. Далее генерируются новые параметры ячеек-резонаторов посредством итеративной оптимизации. Этот шаг сочетает в себе сеть-регрессор, обученную ранее с алгоритмом оптимизации, и использует некоторую стратегию поиска для нахождения оптимальных параметров CSRR-ячеек. Такой подход полностью автоматизирует процесс создания микрополосковых антенн с ячейками-резонаторами на основе метаматериалов и позволит нахо-

дить параметры этих ячеек, обеспечивающие оптимальный режим работы в целом, и дает максимальный уровень излучения антенны при сохранении полосы пропускания.

Литература

1. *Касимова А.У., Верзунов С.Н.* Обзор и анализ современных методов измерения диэлектрической проницаемости горных пород // Проблемы автоматики и управления. – 2022. – № 1 (43). – С. 33–49. – URL: <http://pau.imash.kg/index.php/pau/article/view/258>.
2. *Верзунов С.Н.* Способ оптимизации конструктивных параметров ячеек-резонаторов микрополосковых антенн на основе интеллектуального анализа данных // Электротехнические системы и комплексы. – 2022. – № 3 (56). – С. 54–64. – DOI: 10.18503/2311-8318-2022-3(56)-54-64.
3. *Касимова А.У.* Сравнительный анализ численных методов моделирования микрополосковой антенны // Проблемы автоматики и управления. – 2022. – № 3 (45). – С. 31–41. URL: <http://pau.imash.kg/index.php/pau/article/view/386>.

Л.И. Великанова, Н.М. Лыченко

*Институт машиноведения и автоматике
Национальной академии наук КР,
г. Бишкек, Кыргызская Республика*

МЕТОДОЛОГИЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ИНС С УЧЕТОМ ФАКТОРА ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Одной из самых больших экологических угроз в Кыргызской Республике, в частности, в г. Бишкек, стало загрязнение атмосферного воздуха. Почти не имея промышленности, город зачастую занимает первые места в мировых антирейтингах по загрязнению воздуха. В связи с этим, задача анализа динамики изменения концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе и построение моделей для прогноза их содержания представляет особый интерес. В качестве интегрированного показателя загрязненности атмосферного воздуха в мире принято использовать индекс качества воздуха (Air Quality Index, AQI), который, чаще всего, определяется содержанием в атмосфере наиболее опасного загрязнителя воздуха – PM_{2.5}, то есть твердых частиц диаметром до 2,5 микрон. Основные причины, обуславливающие попадание этих частиц в атмосферу города – выбросы ТЭЦ, печное отопление, автотранспорт, летучие отходы производства. Временные ряды наблюдений PM_{2.5} и AQI [1] имеют выраженный нестационарный характер, что соответствует природе процессов загрязнения атмосферного воздуха, являющихся следствием множества явных и неявных, а также случайных факторов.

Основными факторами, учитывающимися при решении задач прогноза загрязненности атмосферного воздуха обоснованно считаются метеорологические параметры, поскольку именно они во многом определяют характер процессов, протекающих в атмосфере. В [2] на основе регрессионного анализа исследованы взаимосвязи между загрязненностью атмосферного воздуха г. Биш-

кек и сопутствующими ей метеопараметрами [3] (температура воздуха, атмосферное давление, относительная влажность, скорость ветра, температура точки росы, интенсивность осадков) в различные периоды года, выявлены положительные и отрицательные корреляции. В ряде работ, например в [4], были разработаны различные модели прогноза уровня загрязненности воздуха на основе авторегрессии и искусственных нейронных сетей (ИНС). Однако при решении задач прогноза загрязненности воздуха очень важен учет загрязняющих атмосферу факторов. Удалось выявить существенные (до 0.5) корреляции между уровнем загрязнения атмосферного воздуха города и количеством тонн угля, ежедневно потребляемого ТЭЦ г. Бишкек. При этом воздействие фактора загрязнения, связанного с выбросами ТЭЦ в воздух города твердых частиц PM_{2.5}, имеет нестационарный характер, обусловленный неоднородностью типа используемого угля (по месту добычи).

Основная особенность методологии краткосрочного прогноза PM_{2.5} и AQI заключается в декомпозиции значений измеряемых параметров (метеопараметров и данных о ежедневно потребляемом ТЭЦ количестве тонн угля и его типе) по сезонам (зима-отопительный/ лето-неотопительный) и по срокам измерений: 0 часов, 3 часа, 6 часов, 9 часов, 12 часов, 15 часов, 18 часов 21 час с последующим построением моделей ИНС для каждого срока измерений. При этом для каждой модели были определены наиболее эффективные, с позиции средних ошибок прогноза, варианты входных векторов сети, учитывающих различную историю метеопараметров (на 3 часа, 6 часов и т. д. ранее).

Использованы модели, построенные на основе двух типов ИНС: на основе нейронной сети с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки *FFBNN* [5] и на основе обобщенно-регрессионной нейронной сети *GRNN* [6].

Анализ ошибок прогноза PM_{2.5} и AQI позволил сделать следующие выводы:

- прогноз AQI в подавляющем большинстве случаев дает существенно меньшую ошибку по сравнению с прогнозом PM_{2.5} как в отопительный, так и в неотопительный периоды;
- использование ИНС *FFBNN* предпочтительнее;

• введение в параметры обучения массы ежесуточно сжигаемого ТЭЦ угля и его типов позволило уменьшить ошибку прогноза AQI на (2–7)%.

Литература

1. AirNow Department of State // AirNow. URL: [https://airnow.gov/index.cfm?action=airnow.global_summary#U.S.Department_of_State\\$Bishkek](https://airnow.gov/index.cfm?action=airnow.global_summary#U.S.Department_of_State$Bishkek) (дата обращения: 30.11.2022).
2. *Лыченко Н.М.* Регрессионный анализ метеорологических факторов и концентраций частиц PM_{2.5} в атмосферном воздухе г. Бишкек // Проблемы автоматизации и управления. – 2019. – № 2(37). – С. 5–15. – DOI: 10.5281/zenodo.3594649.
3. Архив погоды в Бишкеке // Расписание погоды. URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Бишкеке (дата обращения: 30.11.2022).
4. *Лыченко Н.М., Великанова Л.И., Верзунов С.Н., Сорокова А.В.* Модели прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Бишкек // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 87–95.
5. *Specht D.F.* A general regression neural network // IEEE Transactions on neural networks. – November 1991. – Vol. 2, № 6. – P. 568–576. – DOI: 10.1109/72.97934.
6. *Widi Aribowo.* Optimizing Feed Forward Backpropagation Neural Network Based on Teaching-Learning-Based Optimization Algorithm for Long-Term Electricity Forecasting // International Journal of Intelligent Engineering and Systems. – 2022. – Vol. 15, no. 1. – DOI: 10.22266/ijies2022.0228.02.

В.В. Гайдамако

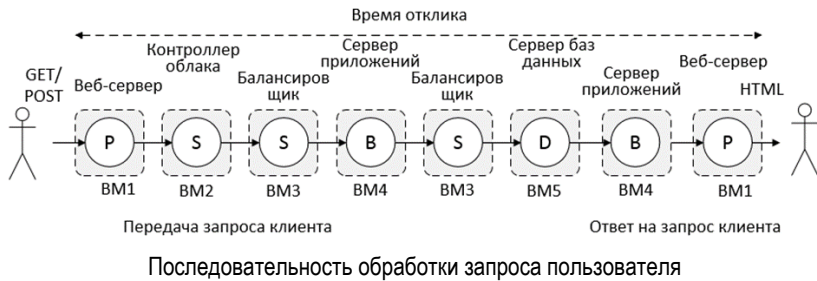
*Институт машиноведения и автоматике
Национальной академии наук КР,
г. Бишкек, Кыргызская Республика*

ПОСТРОЕНИЕ SIMGRID-МОДЕЛИ ТРЕХУРОВНЕВОГО ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ С УЧЕТОМ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ

Рассмотрим трехуровневое веб-приложение, работающее в облачном центре обработки данных (ЦОД) и предоставляемое как услуга (SaaS). В таком приложении запрос клиента направляется на наименее загруженный веб-сервер (уровень презентации Р), веб-сервер пересылает запрос серверу приложений (уровень приложения В), который для формирования ответа на запрос делает запрос к серверу базы данных (уровень данных D). После получения ответа от сервера базы данных все происходит в обратном порядке – сервер приложений формирует страницу ответа, передает ее веб-серверу, веб-сервер доставляет новую страницу клиенту. Все серверы работают на виртуальных машинах (VM), их количество может увеличиваться и уменьшаться в зависимости от количества запросов, VM могут перемещаться на другие физические машины. Главным критерием работы системы будем считать время отклика на запрос пользователя, оно должно составлять менее 2 секунд, а в идеале – менее 1 секунды. Для учета балансировки нагрузки (служебный уровень S) и работы в облаке добавляются координатор облака и балансировщик нагрузки (рис.), то есть запрос будет проходить уже 5 VM, причем некоторые более чем по одному разу, запрос обслуживается в 8 этапов.

Балансировщик нагрузки определяет сервер (виртуальную машину, VM), на который будет направлен очередной запрос, и, в случае необходимости, создает дополнительные экземпляры серверов (VM) на наименее загруженных физических машинах. В модели определяются три сетевые зоны: зона ЦОД – начальная

конфигурация для запуска приложения, зона физических машин, на которых создаются дополнительные ВМ, зона пользовательских машин. Зона ЦОД включает контроллер ЦОД, принимающий на обработку или перенаправляющий запрос пользователя в другой ЦОД, веб-сервер, сервер приложений, сервер хранения (баз данных), сервер балансировки нагрузки. Сервер балансировки нагрузки в соответствии с алгоритмом балансировки выбирает экземпляр (ВМ) сервера обслуживания запроса на каждом этапе.



В файле платформы модели Simgrid описываются физические машины (количество ядер, производительность, емкость диска), сетевые зоны, линии связи (пропускная способность и задержка, возникающая из-за необходимости кодирования или упаковки данных). В модели представлены два вида линий связи – линия связи между облаком и пользователями – интернет соединение, скорость может быть самой разной (10-50 Мб/с), и линии связи внутри ЦОД (1-10 Гб/с). Связи между ЦОД на данном этапе не рассматривались, так как основное назначение создаваемой модели – отладка взаимодействия между серверами одного ЦОД. В определении платформы описывается маршрутизация, используемая как внутри сетевой зоны, так и между зонами. Линии связи моделируются в виде почтовых ящиков (Mailbox). Характеристики физических машин и линий связи могут легко изменяться в файле платформы без вмешательства в код. Код модели содержит описание активностей, выполняемых на акторах – физических или виртуальных машинах [1].

Эксперименты проводились для модели небольшого ЦОД (10-20 физических машин), для 10-50 пользовательских машин, генерирующих запросы в случайные интервалы времени. С использованием статических алгоритмов балансировки – циклического алгоритма, циклического алгоритма с весами и алгоритма Min-Min (задача с наименьшим временем выполнения направляется на самый «быстрый» ресурс) [2]. На каждой физической машине при старте системы создавалась одна ВМ с различной производительностью. Анализ результатов показал, что модель позволяет оценивать работоспособность системы с заданными параметрами оборудования и линий связи при использовании различных алгоритмов балансировки нагрузки для отдельного ЦОД. В дальнейшем в модель ЦОД должен быть включен мониторинг ресурсов облака (физических и виртуальных машин и линий связи) и, следовательно, использование динамических алгоритмов балансировки нагрузки, учитывающих текущее состояние системы. Для исследования балансировки нагрузки в облаке с несколькими ЦОД модель должна учитывать обмен информацией о доступных ресурсах между контроллерами ЦОД, возможность миграции ВМ в другой ЦОД. Для имитации нагрузки от пользователей целесообразно описывать группы пользователей, их расположение (от него зависят часы активности), характер активности – объем входящего и исходящего трафика, количества операций на запрос, периодичность запросов.

Литература

1. SimGrid: Versatile Simulation of Distributed Systems. – URL: <https://simgrid.org/> (дата обращения 15.01.2023).
2. *Mishra S.K., Sahoo B., Parida P.P.* Load balancing in cloud computing: A big picture // Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. – 2020. – Vol. 32, iss, 2. – P. 149–158.

А.В. Наумовская

*Кыргызско-Российский Славянский университет
им. первого Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина,
г. Бишкек, Кыргызская Республика*

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ

В настоящее время интенсивно развиваются теоретические и экспериментальные исследования в области улучшения технических и эксплуатационных свойств металлов и сплавов путем модифицирования их поверхности. Существует множество химических, электрохимических и физических способов формирования различного рода покрытий на металлах, позволяющих повысить долговечность службы изделий, а также придать устойчивость к работе в агрессивных средах и декоративные свойства. Проанализировав все существующие методы, автор рекомендует метод микродугового оксидирования, так как он является одним из наиболее востребованных и перспективных на сегодняшний день методов нанесения многофункциональных оксидных слоев является метод микродугового оксидирования (МДО). Берущий свое начало от традиционного анодирования метод микроплазменной обработки материалов позволяет наносить сверхпрочные покрытия с уникальными характеристиками, такими как устойчивость к высоким температурам и различного рода коррозии и износу, электроизоляция и декоративность. Также полученные этим способом покрытия по внешнему виду очень напоминают керамику.

Метод микродугового оксидирования (МДО) заключается в том, что при пропускании тока большой плотности через границу раздела: вентильный металл-электролит создаются условия, когда на поверхности металла возникают микроплазменные разряды с высокими локальными температурами и давлениями. Вен-

тильными металлами принято называть металлы, оксиды которых образуют пленки такие, что из проводимости в противоположных направлениях сильно различается (это и есть «вентильное» свойство). Типичные представители: Al, Ta, Zr, Ti, Nb. Результатом действия разрядов является формирование слоя покрытия, состоящего из окисленных форм элементов металла основы и составляющих электролита. В зависимости от выбора режима микродугового оксидирования и состава электролита можно получать керамические покрытия с уникальными характеристиками и широчайшим спектром применения.

Покрытия, полученные методом микродугового оксидирования, представляют собой пористую керамику сложного состава. Наноструктурные неметаллические покрытия обладают целым рядом промышленно значимых качеств: прочность, износостойкость, коррозионная стойкость, термостойкость, низкая диэлектрическая проницаемость, особые светоотражающие и светопоглощающие свойства.

Эти покрытия успешно используются как сверхпрочные и износостойкие в различных узлах и агрегатах машин и механизмов. Они достигают твердости 21 ГПа и имеют превосходное сцепление с поверхностью обработанного металла, которое обеспечивается наличием переходного слоя на границе металл-покрытие. Упрочнение поверхности обработанного металла позволяет заменить дорогостоящие детали из нержавеющей стали, латуни и бронзы более экономичными изделиями из черной стали и алюминия. Например, черная сталь покрывается тонким слоем алюминия, затем производится МДО почти на всю глубину слоя алюминия и получается сталь, покрытая корундом, который превосходно защищает эту сталь от истирания в условиях высоких механических нагрузок. Немаловажен и тот факт, что до нанесения покрытия алюминий намного проще поддается механической обработке, нежели твердые сплавы, традиционно используемые для производства износостойких деталей.

С помощью МДО создаются покрытия, стойкие в атмосферных условиях и коррозионных средах – в химически агрессивных растворах, парах кислот и щелочей, морской воде. Создаются покрытия, имеющие повышенную стойкость к термическим и термоциклическим нагрузкам, которые могут без ограничений

работать при температурах до 600 °С, выдерживающие «тепловые удары» (кратковременное повышение температуры до 1500–2000 °С). Фактически при длительном нагреве термостойкость покрытия ограничена температурой плавления сплава самой детали.

Диэлектрические свойства покрытия зависят от его толщины и применения пропитки пор различными материалами. Среднее напряжение, при котором происходит пробой покрытия – 600 В. Напряжение пробоя покрытия с наполнением пор – до 2500 В.

При необходимости покрытиям можно придать различные светоотражающие и светопоглощающие свойства. Отражательная способность МДО-покрытий достигает 80 % – белый цвет. Для декоративных целей отработаны технологии нанесения нескольких базовых цветов: белого, черного, коричневого, серого, серого, зеленого и их оттенков.

Литература

1. *Лелевкин В.М., Токарев А.В., Черткова А.А.* Композиционное покрытие на алюминии // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2012. – № 5. – С. 166–169.
2. *Суминов И.В., Эпельфельд А.В., Людин В.Б.* Микродуговое оксидирование (обзор) // Приборы. – 2001. – № 9. – С. 13–23.
3. *Ферябков А.В.* Композиционные покрытия микродугового оксидирования // Вестник ОрелГАУ. – 2010. – № 1(22). – С. 20–21.

Н.В. Астапенко, И.Г. Тришин

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

СЕНТИМЕНТ-АНАЛИЗ ТЕКСТА: ПОДХОДЫ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ

Сентимент-анализ, также известный как анализ мнений, является мощным инструментом, который используется для получения информации об упоминаниях, брендах и продуктах. Это алгоритм обработки естественного языка, который дает общее представление о положительных, нейтральных и отрицательных характеристиках текста и на который полагаются компании для мониторинга социальных данных. Анализ тональности обычно определяется как одна из задач вычислительной лингвистики. Предполагается нахождение и классификация тональности текста, с помощью инструментов обработки естественного языка таких как теггеры, парсеры и т. д.

Автоматический анализ тона текста привлек большое количество исследователей в области обработки текста на естественном языке. В связи с актуальностью данной темы и интересом, проявленным к компьютерной лингвистике и искусственному интеллекту со стороны исследователей в этой области, написано множество статей. Поскольку речь идет об обработке текста на естественном языке, следует отметить, что большая часть исследований написана для обработки англоязычных текстов [1]. Анализ состоит из набора задач, связанных в основном с семантическим и синтаксическим анализом письменной речи. Его можно разделить на различные области, включая работу с неологизмами, оценку настроения, модель тематического моделирования и оценку тематической модели.

Анализ тональности – это хорошее решение для компаний и пользователей, позволяющее классифицировать тональность большого объема текста. Для этой цели существует несколько

подходов, от методов, основанных на правилах, до неконтролируемого машинного обучения. Существует несколько подходов к сентимент-анализу текста:

1. *Подход, основанный на правилах.* Метод использует набор заранее определенных правил и эвристик для классификации текста на положительные, отрицательные или нейтральные категории. Правила основаны на списке слов или фраз, которые выражают определенное настроение. Например, наличие таких слов, как «счастливый» или «захватывающий», указывает на позитивное настроение, а такие слова, как «грустный» или «разочарованный», указывают на негативное настроение. Этот метод относительно прост и легко реализуем, но он может быть ограничен набором предопределенных правил и может плохо работать с более сложными или с текстами, которые используют сарказм, иронию и так далее [2; 3].

2. *Подход машинного обучения.* Метод использует набор данных обработанных примеров текста для обучения модели машинного обучения для классификации текста по различным настроениям. Затем эта модель используется для классификации новых текстов. Существуют различные типы алгоритмов машинного обучения, которые могут быть использованы для анализа настроений, такие как Naïve Bayes, деревья решений и модели глубокого обучения, такие как LSTM, GRU и BERT. Подход машинного обучения может обрабатывать более сложные тексты, чем подход, основанный на правилах, а также адаптироваться к новым данным и изменяющимся контекстам. Однако он требует большого количества помеченных данных для обучения модели и может быть вычислительно дорогим [4; 5].

3. *Гибридный подход.* Метод сочетает в себе как методы, основанные на правилах, так и методы машинного обучения для повышения точности анализа настроений. Метод, основанный на правилах, используется для предварительной обработки текста и выявления слов и фраз, несущих смысл, а метод машинного обучения используется для классификации текста на основе выявленных слов и фраз, несущих смысл. Такой подход позволяет использовать сильные стороны обоих методов и получить более точные результаты, чем любой из них в отдельности. Однако он

может быть более сложным и вычислительно дорогим, чем отдельный метод [6].

4. *Подход с использованием лексикона настроений.* Использует лексикон, также известный как словарь настроений, который представляет собой список слов и связанных с ними оценок настроений, затем рассчитывает общую оценку настроения текста путем суммирования оценок слов в тексте. Этот подход относительно прост и быстр, но он может быть ограничен охватом и качеством лексикона настроений. Точность этого подхода также зависит от качества лексикона и его охвата словарного запаса, используемого в тексте. Он может быть ограничен своей неспособностью обрабатывать сарказм, отрицания, идиоматические выражения и другие формы естественного языка [7].

5. *Нейросетевой подход.* Использует методы глубокого обучения для классификации текста по различным настроениям. Нейронная сеть обучается на наборе отобранных данных, а затем используется для классификации нового текста. Эти модели более сложные и точные, чем другие подходы, также может адаптироваться к новым данным и изменяющимся контекстам. Они могут быть чувствительны к обучающим данным, что может привести к предвзятости [8].

В целом, если задача требует быстрого анализа большого количества текста, может быть полезен подход с использованием лексикона настроений или подход на основе правил, в то время как если задача требует более точного анализа более сложного и детального текста, более подходящим будет подход машинного обучения или нейронных сетей.

Литература

1. *Сарбасова А.Н.* Исследование методов sentiment-анализа русскоязычных текстов // Молодой ученый. – 2015. – № 8 (88). – С. 143–146.
2. *Bing L.* Sentiment Analysis and Opinion Mining. Synthesis lectures on human language technologies. Synthesis digital library of engineering and computer science. – Morgan & Claypool Publishers, 2012. – URL: <https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1443604>.
3. *Pang B., Lee L.* Opinion Mining and Sentiment Analysis // Foundations and Trends in Information Retrieval. – 2008. – 148 p.
4. *Zhang L., Wang Sh., Liu B.* Deep learning for sentiment analysis: A survey. – 2018. – 34 p. – URL: <https://arxiv.org/abs/1801.07883>.

5. *Hourrane O., Benlahmar EL H., Ahmed Z.* Comparative study of deep learning models for sentiment analysis // *International Journal of Engineering & Technology.* – 2018. – Vol. 7, iss. 4. – P. 5726–5731. – DOI: 10.14419/ijet.v7i4.24459.
6. *Sentiment Analysis for Social Media* // A special issue of *Applied Sciences*. This special issue belongs to the section “Computing and Artificial Intelligence”. – 2019. – URL: https://www.mdpi.com/journal/applsci/special_issues/Sentiment_Social_Media.
7. *Zhang L., Liu B.* Sentiment Analysis and Opinion Mining // *Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining.* – 2016. – P. 1–10. – DOI: 10.2200/S00416ED1V01Y201204HLT016.
8. *Liu X., He Y., Xu L.* Deep Learning for Sentiment Analysis: A Survey. – URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1801/1801.07883.pdf>.

А.В. Сабирова, Н.В. Астапенко

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

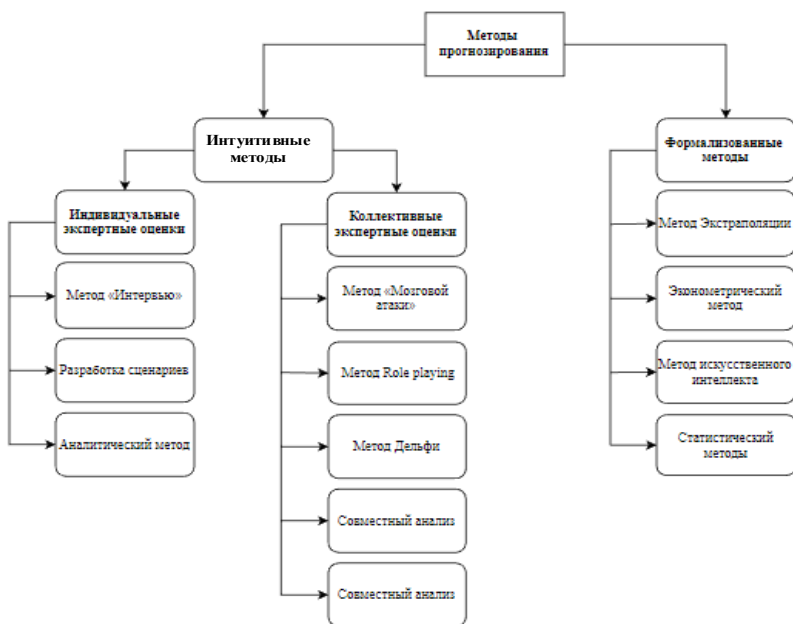
КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Анализ опубликованных исследований по методам прогнозирования для розничных продаж, показал, что в большинстве работ, авторы не классифицируют методы и модели прогнозирования, а просто их указывают. При изучении методов прогнозирования, надо понимать, что существует два взаимосвязанных понятия такие как, метод прогнозирования и модель прогнозирования. Последовательность действий, которые совершаются для получения модели прогнозирования и есть метод прогнозирования. Модель прогнозирования является функциональным представлением, которое конкретно описывает исследуемый процесс и является фундаментом для получения его будущих значений [1].

При классификации методов, можно выделить две основных группы методов. К первой группе относятся интуитивные методы, данная группа имеет дело с суждениями и оценками экспертов. Ко второй группе относятся формализованные методы, эта группа имеет дело с математическими моделями [2]. Интуитивные методы обычно используют, когда для прогнозирования отсутствуют статистические данные, которые можно использовать для математических формул, которые описывают объект. В свою очередь, формализованные методы позволяют осуществить прогноз продаж с помощью формальных средств математической теории, благодаря которым можно повысить достоверность и точность прогнозов в продажах.

Если классифицировать первую группу «Интуитивные методы», можно разделить ее на два вида, такие как, «Индивидуальные экспертные оценки» данный метод опирается на независимую оценку событий одного эксперта и «Коллективные экспертные оценки» данный метод позволяет формировать коллективное

мнение на основе суждений нескольких экспертов о дальнейшем развитии объекта прогнозирования. Формализованные методы предполагают использование в процессе прогнозирования различного рода экономико-математических моделей, благодаря которым можно получить конкретное будущее значение. В связи с этим изучив работы и книги по данной тематике, была построена схема (рис.), которая на мой взгляд отображает, как строится общая структура методов прогнозирования.



Классификация методов прогнозирования

Таким образом, мы понимаем, что существует очень большой перечень методов прогнозирования и, если выбирать методы, которые больше всего подходят для прогноза в области розничных продаж, можно выделить формализованные методы, так как данная область содержит много данных о продажах товара. При использовании формализованных методов, потребуется применять модели прогнозирования для работы с полученными данными, они в свою очередь имеют отдельную классификацию.

Литература

1. Бокс Дж., Дженкинс Г.М. Анализ временных рядов, прогноз и управление. – М.: Мир, 1974. – 406 с.
2. Тихонов Э.Е. Прогнозирование в условиях рынка. – Невинномысск, 2006. – 221 с.
3. Hirsch D.D. The Glass House Effect: Big Data, The New Oil, and the Power of Analogy // *Maine Law Review*. – 2014. – Vol. 66, no. 2. – URL: <https://digitalcommons.maine.maine.edu/mlr/vol66/iss2/3>.
4. Тихонов Э.Е. Методы прогнозирования в условиях рынка: учеб. пособие. – Невинномысск, 2006. – 173 с.
5. Чебенева Е.А. Разработка модели прогнозов загрузки узлов логистической сети: диссертация. 2020.
6. Lai Y., Dzombak D.A. Use of the Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Model to Forecast Near-Term Regional Temperature and Precipitation // *Weather and forecasting*. – 2020. – Vol. 35. – P. 959–976. – DOI: 10.1175/WAF-D-19-0158.1.
7. Marta R.O. Forecasting Using Different Forecasting Methods. A Thesis. – 2019. – 34 p.
8. Almazrouee A.I., Almeshal A.M., Almutairi A.S., Alenezi M.R., Alhajeri S.N. Long-Term Forecasting of Electrical Loads in Kuwait Using Prophet and Holt–Winters Models // *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10, iss. 16. – P. 5627. – DOI: 10.3390/app10165627.

Я.А. Бекенева, А.М. Лопушанский

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

ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕКСТОВ СООБЩЕНИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ

Обработка естественного языка используется во многих современных отраслях. Нас окружает большое количество технологических решений, которые могут распознавать и обрабатывать естественный язык. Использование технологий такого рода может помочь распознать упоминание определенных тем в общем шуме сообщений в интернете. Волнующие людей темы выделяются частым упоминанием специфичных слов, относящихся к этим темам.

Целью данной работы является обзор методов преобразования текста для проведения частотного анализа [2] и реализация частотного анализа на примере набора данных с сообщениями в сети города, в котором прошло землетрясение.

В качестве исходных данных для частотного анализа используется набор данных, представленный на VAST Challenge 2019 [1]. Одной из задач того года было проведение анализа набора сообщений, отправленных в течение нескольких дней в разных районах города, в котором произошло землетрясение. Результатом анализа должны стать выводы о месте, времени и последствиях землетрясения.

Рассматривать данные этого датасета можно как статические, или же как динамические. Динамические данные следует рассматривать в порядке их поступления и делать выводы с каждым пришедшим сообщением, как это происходило бы при реальной катастрофе. Статические данные можно рассматривать целиком, как если бы реальная катастрофа изучалась в ретроспек-

тиве. На данном этапе для изучения методов частотного анализа и получения первых результатов достаточно рассмотреть все события в статике.

Важным этапом предварительной обработки является очистка сообщения от слов, которые не несут смысловой нагрузки, следовательно от них необходимо избавиться (артикли, предлоги). После очистки текстов от стоп-слов популярными словами стали: power, like, going, good, water, know, dont, help, time, nuclear.

Теперь, используя эту методику, можно попробовать определить примерное время и место одного из эпицентров землетрясения. Для удобной работы был разработан интерактивный интерфейс, позволяющий выбирать время и район отправки сообщений. В результате удалось выявить, что наибольшее количество сообщений было отправлено в районе Downtown с 08:00 до 13:00 8 апреля.

В дальнейшем, для получения более качественного результата, модель должна быть доработана. Для слов необходимо проводить стемматизацию – приведение к нормальной форме, чтобы разные написания одного слова или его множественное число приводилось к одной общей форме и учитывалось в статистике. Также стоит учитывать синонимы слов, для выявления разных сообщений одной тематики [3].

Литература

1. VAST Challenge 2019. URL: <https://vast-challenge.github.io/2019/MC3.html> (дата обращения: 10.10.2022).
2. Частотный анализ текста. URL: <https://medium.com/analytics-vidhya/introduction-to-word-frequencies-in-nlp-4deb3a02ff43> (дата обращения: 10.10.2022).
3. *Nguyen H.N., Dang T.* EQSA: Earthquake Situational Analytics from Social Media // 2019 IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology (VAST). – IEEE, 2019. – P. 142–143.

М.Д. Кузнецов

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

ПРИМЕНЕНИЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ ФРЕЙМВОРКОВ И ГРАФОВЫХ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ СОГЛАШЕНИЙ

Проблема непрозрачности пользовательских соглашений остается актуальной. Не смотря на попытки исследователей формализовать их, привести к понятному и четкому формату, все еще не был предложен метод автоматизированного исчерпывающего описания и анализа условий пользования цифровыми услугами, умными устройствами и т. д., в частности аспекты использования персональных данных. За последние несколько лет были приняты законы обязывающие поставщиков услуг составлять пользовательские соглашения в соответствии с определенными правилами, в числе таких законов Федеральный Закон № 152 в России и GDPR [1], действующий на территории стран Европейского союза.

В 2016 году были опубликованы работы [2; 3], в которых было предложено онтологическое описание пользовательских соглашений веб-сайтов. В серии работ A Core Ontology for Privacy Requirements [4–6] авторы предлагают и поэтапно совершенствуют онтологию, призванную помочь инженерам и разработчикам информационных систем и IoT-устройств. Таким образом, в современных разработках по формализации различных предметных областей активно применяется онтологическое моделирование.

Онтологическое моделирование позволяет произвести детальное описание предметной области, в данном случае описание пользовательских соглашений на обработку персональных данных. Онтология является центральным элементом анализа пользовательских соглашений. Она формализует юридические прин-

ципы и аспекты оборота персональных данных между сторонами: пользователями и поставщиками цифровых услуг. Кроме того, к такому онтологическому представлению возможно строить строгие запросы и получать краткие и четкие ответы на вопросы, касающиеся оборота персональных данных.

На данный момент существуют несколько способов наполнения онтологического представления данными: ручной, полуавтоматический, автоматический. Все они обладают своими особенностями, однако очевидно одно – объемы данных, которыми будет в этом случае наполнено онтологическое представление будут значительными. В качестве примера можно упомянуть датасет [7], который был впервые упомянут в работе [8] в 2021 году. На основе данных датасета было наполнено онтологическое представление, описанное в работе [9]. Наполнение онтологии производилось в автоматическом режиме с применением методов текстовой кластеризации, что позволило обработать столь большой объем данных. В программной среде Protege был проведен ряд экспериментов, показавших ее несостоятельность при обработке больших объемов данных. Основной проблемой данной программной среды является метод работы с онтологическим представлением – в процессе работы оно полностью помещается в оперативную память вычислительного устройства, что накладывает строгие ограничения на объемы обрабатываемых данных. Существует ряд графовых баз данных и фреймворков для создания семантических сетей, не имеющих недостатков, присущих Protege – Jena Fuseki, GraphDB и др. Они также обладают open source лицензированием и поддержкой языка описания онтологий OWL.

Онтология является ключевым элементом для развития технологий формализации пользовательских соглашений и построения систем поддержки принятия решений, связанных с управлением персональными данными, поэтому проблема выбора программного решения для ее развертывания является крайне важной. Развертывание онтологического представления, позволит оперативно и централизованно дополнять и обновлять его, использовать для проведения актуальных исследований, которые впоследствии помогут пользователям делать максимально осознанный выбор при согласии на обработку их персональных данных.

Литература

1. General Data Protection Regulation. – URL: <https://gdpr.eu> (дата обращения: 14.04.2021).
2. Usable privacy policy project // usableprivacy.org. – URL: <https://usableprivacy.org> (accessed June. 23, 2021).
3. *Oltramari A., et al.* PrivOnto: a semantic framework for the analysis of privacy policies // *Semantic Web*. – 2018. – Vol. 9. – P. 185–203.
4. *Gharib M., Giorgini P., Mylopoulos J.* COPri v.2 – A core ontology for privacy requirements // *Data & Knowledge Engineering*. – 2021. – Vol. 133, iss. 3. – P. 101888. – DOI: 133.101888.10.1016/j.datak.2021.101888.
5. *Gharib M., Mylopoulos J.* A Core Ontology for Privacy Requirements Engineering. – 2018. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1811.12621.pdf>.
6. *Gharib M., Mylopoulos J., Giorgini P.* COPri – A Core Ontology for Privacy Requirements Engineering // *Research Challenges in Information Science*. – 2020. – P. 472–489. – DOI: 10.1007/978-3-030-50316-1_28.
7. IoT dataset. – URL: <https://github.com/user160244980349/iot-dataset> (дата обращения: 16.04.2022).
8. *Kuznetsov M., Novikova E., Kotenko I., Doynikova E.* Privacy Policies of IoT Devices: Collection and Analysis // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22, iss. 5. – P. 1838. – DOI: 10.3390/s22051838.
9. *Kuznetsov M., Novikova E., Kotenko I.* An approach to formal description of the user notification scenarios in privacy policies // *2022 30th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing (PDP)*. – 2022. – P. 275–282. – DOI: 10.1109/PDP55904.2022.00049.

Е.В. Семочкина

*Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова,
г. Москва, Россия*

**КАРТЫ СИСТЕМ
ДЛЯ РЕКЛАМНОЙ КОМПАНИИ,
ВЫПОЛНЕННЫЕ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СРЕДЕ
«ARIS EXPRESS»**

На рис. 1–3 – карты систем для рекламной компании из 27 человек, выполненные в инструментальной среде «ARIS EXPRESS» в источнике [2]:

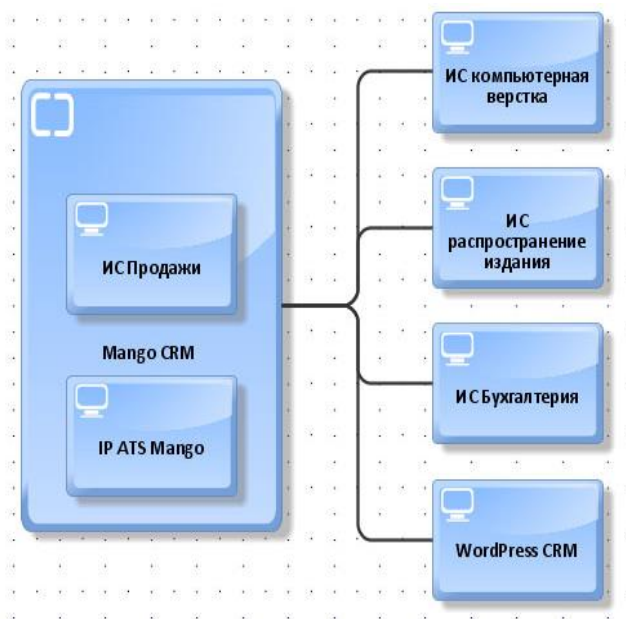


Рис. 1. Карта систем небольшой рекламной компании, организующей работу с помощью «Mango CRM»



Рис. 2. Карта систем небольшой рекламной организации, работающей на «1С:CRM»

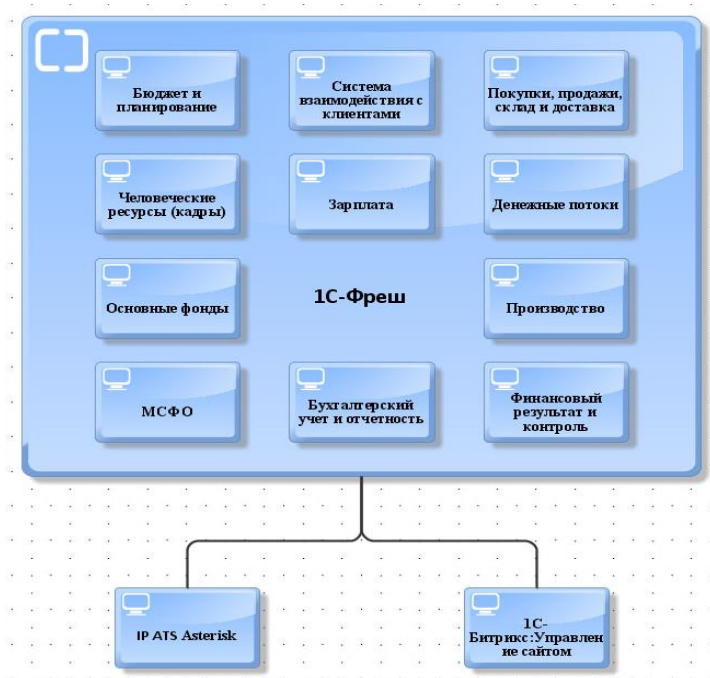


Рис. 3. Карта систем небольшой компании, организующей работу с помощью «1С:ERP»

Напомним обозначения, принятые на приведенных рисунках в соответствии с методикой «ARIS» [1].



Домен отображает группировку ИТ-систем в области по различным критериям объединения



Программная система

Диаграммы «Карта систем» могут быть адаптированы под условия реальной компании из сферы малого бизнеса. Без изменений вся информация статьи подходит для обучения студентов по ИТ-направлениям образования.

Литература

1. Методы и средства моделирования бизнес-процессов: методология ARIS: учеб.-метод. пособие / сост. С.В. Рындина. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2018. – 52 с.
2. Семочкина Е.В. Составление карт систем для рекламной компании в инструментальной среде «ARIS EXPRESS» // Россия и мир: развитие цивилизаций. Инновации и консерватизм: поиск баланса: материалы XII всероссийской научно-практической конференции с международным участием (6–7 апреля 2022 г.): – М.: Издательский дом ИМЦ, 2022. – С. 130–135 – URL: http://imc-i.ru/userfiles/ufiles/Russia_and_the_world_XII_2022-08-02_PRINT.pdf (дата обращения 27 августа 2022).

Е.В. Семочкина

*Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова,
г. Москва, Россия*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТЖИМА СОКА С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СРЕДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ «GPSS WORLD»

Универсальная среда моделирования «GPSS World» позволяет осуществлять компьютерные имитации процессов, описываемых статистическими законами. В источнике [1] построена модель отжима сока из плодов на примере переработки яблок сорта «Мелба» на соковыжималке «Bosh VegaJuice3».

Описание моделируемого процесса. Обработано 14,1 кг яблок. 9 порций плодов было помыто и при необходимости обрезано до непосредственного отжима. 1.57 кг яблок в 1 порции яблок. 0.78 литра получено из плодов 1 порции яблок.

Мытье 1 порции яблок длилось 1 ± 0.25 мин., обрезка – 1.5 ± 0.25 мин., изготовление сока – 7 ± 0.5 мин. Получено 7 л. не осветленного сока.

Приготовление сока заняло 95 ± 5 мин. 20 ± 5 мин длилась промывка рабочих частей соковыжималки.

Программа (модель) для имитации действий одного человека приводится ниже.

* model ACCOUNT OF WORK JUICE MAKER *

```
JUICE1 STORAGE 1200
Collect1 STORAGE 1200
Lotok VARIABLE (1.57) ;1.57 kg apples in 1 lotok
COOK VARIABLE (0.78); 0.78 litr is makedfrom 1 lotok
GENERATE 9,1 ;Make juice
ASSIGN Lotok,V$Lotok
ASSIGN COOK,V$COOK
QUEUE Constant
```

```

SEIZE Facility
ENTER Collect1
ENTER JUICE1 ;Process is begun
ADVANCE 1,0.25 ;Wash for 1+/-0.25 min
ADVANCE 1.5,0.25 ;Cut for 1.5+/-0.25 min
ADVANCE 7,0.5 ;Spin for 7+/-0.5 min
LEAVE JUICE1 ;Leave JUICE1
LEAVE Collect1 ;Leave Collect1
SAVEVALUE Lotok+,P$Lotok
SAVEVALUE COOK+,P$COOK
RELEASE Facility
DEPART Constant
TERMINATE 1 ;One juice portion is out
START 9

```

В источнике [1] напечатан код, описывающий параллельную работу 7 человек. Расчеты, проведенные с помощью указанной программы, показали: яблоки сада, выращенного на 10 сотках (930 кг), группа из 7 человек перерабатывает за 2,33 (8 часового) рабочего дня. Если сотрудники работают не одинаково быстро, то время вырастает до 3 рабочих дней. При переработке 930 кг яблок сорта «Мелба» получается 196,56 литров не осветленного сока.

Приведенная модель создана в бесплатно распространяемой студенческой версии универсальной среды моделирования «GPSS World». Любое заинтересованное лицо может воспользоваться программой, опубликованной в статье. Это - толика в цифровизацию деятельности небольших сельскохозяйственных компаний и владельцев приусадебных участков.

Литература

1. Семочкина Е.В. Имитация процесса отжима сока из плодов с помощью универсальной среды моделирования «GPSS World» // Современные тенденции управления и экономики в России и мире: цивилизационный аспект: материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (17 февраля 2022 г.). – М.: ИМЦ, 2022. – С. 336–350. – URL: http://imc-i.ru/userfiles/ufiles/Modern_trends_in_management_and_economics_III.pdf (дата обращения 27 августа 2022 г.).

Д.Н. Бухаров

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

ПЕРКОЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ С-AU НАНОСПОНДЖА

Металлуглеродные наноспонджи находят широкое применение при решении актуальных задач современной науки и техники [1]. Примером такой структуры может служить углеродный наноспондж с добавленными наночастицами золота – С-Au наноспонж.

Рассматриваемые в качестве образцов для моделирования структуры были получены нашей научной группой с использованием лазерного воздействия на коллоидный раствор в электрическом поле. Данный метод подробно описан в [2]. Полученные образцы имели структуру достаточно близкую к фигурам, построенным на основе направленной перколяции (рис. 1).

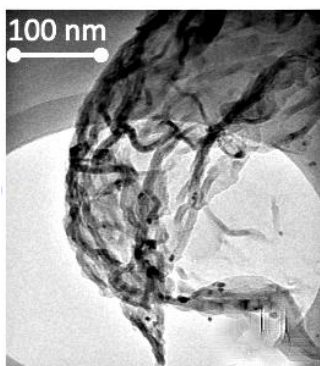


Рис.1. Оптическое изображение наноспонджа [2]

Этот факт использовался для выбора модельного приближения. Таким образом, в качестве модели для описания структуры наноспонджей применялась направленная перколяция [3]. Она была реализована с использованием клеточного автомата на

расчетной области с наложенной равномерной сеткой. В клеточном автомате использовалась окрестность Мура порядка 1, когда рассматривались 8 соседних ячеек расчетной области, относительно текущей. Воздействие лазерного излучения учитывалось в вероятности ячейки передать свой признак («занятая») своему соседу (вероятность перколяции). С физической точки зрения под такой вероятностью можно понимать величину коэффициента поверхностного натяжения. С другой стороны под такой вероятностью можно понимать силу притяжения наночастиц, зависящую от приложенного поля. Воздействие электрического поля учитывалось через указание направления построения модельной фигуры. В качестве начальных условий задавалось начальное распределение занятых ячеек расчетной области. Процесс построения наноспонджа реализовывался итерационно: на каждой итерации начиная от занятой области, соседние ячейки приобретали свойство «занятая» с заданной вероятностью.

Предложенная модель и расчеты структуры наноспонджа были реализованы в среде MATLAB с использованием встроенного генератора случайных чисел с равномерным распределением. На рис. 2 приведены модели наноспонджей С-Au в случае их роста от центральной (рис. 2а) и диагональных линий (рис. 2б) с вероятностью перколяции 0.01. Так, на рис. 2а линии поля направлены слева на право, а на рис. 2б – от левого нижнего угла к правому верхнему.

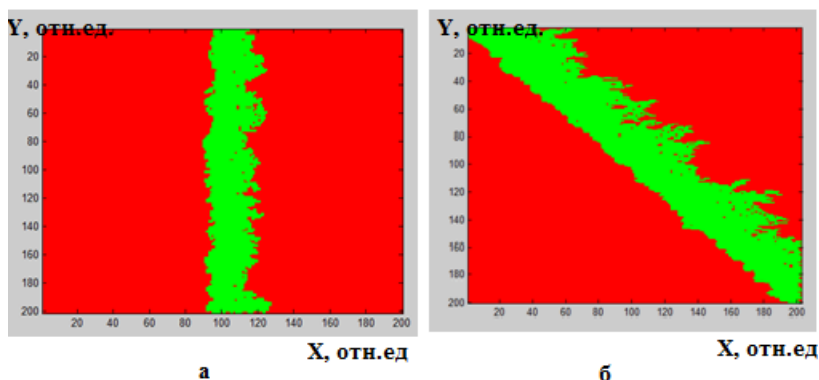


Рис. 2. Модель наноспонджа: рост от центральной линии (а), рост от диагонали (б)

Переходя к абсолютным величинам, получаем погрешность не более 10 %, что свидетельствует об адекватности предложенной модели.

Таким образом, предложенная модель может быть полезна в задачах синтеза наноспонжей разного элементного состава с требуемыми свойствами.

Литература

1. Bianco A., Yongsheng Chen, Yuan Chen, Debjit Ghoshal, Hurt R., Kim Y., Koratkar N., Meunier V., Terrones M. Carbon science perspective in 2018: Current achievements and future challenges // Carbon. – 2018. – Vol. 132. – P. 785–801.
2. Kutrovskaya S., Samyshkin V., Lelekova A., Povolotskiy A., Osipov A., Arakelian S., Kavokin A.V., Kucherik A. Field-Induced Assembly of sp-sp² Carbon Sponges // Nanomaterials. – 2021. – Vol. 11, no. 3. – P. 1–8.
3. Иудин Д.И. Фракталы: от простого к сложному. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2012.

Г.С. Горшков¹, В.Д. Полежаев¹, Л.Н. Полежаева²

¹ *Московский финансово-юридический университет МФЮА,
г. Москва, Россия*

² *Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,
г. Москва, Россия*

ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ВУЗА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ

Построение эффективной системы образования, которая способна формировать творческую личность человека, готового к деятельности в принципиально новой информационной среде XXI века, ставит на повестку дня проблему активного внедрения информационных технологий в процесс обучения, развития единой образовательной информационной среды. При этом важное значение приобретает грамотное использование передовых достижений в сфере информационных технологий.

Учитывая растущий запрос на гибкое индивидуализированное целевое обучение, перед вузовским сообществом стоят задачи развития сетевых форм реализации образовательных программ, интеграции с информационными системами и ресурсами платформы ЦОС, интеграции с запросами работодателей, использования массовых открытых онлайн курсов и предоставления обучающимся возможности самостоятельно компоновать индивидуальные образовательные траектории (далее - ИОТ) из модулей программ разных вузов и курсов на платформах открытого образования.

Основу для разработки новой целевой образовательной модели в сети университетов и цифровых платформ составляют два технологических тренда, которыми являются онлайн-обучение и использование искусственного интеллекта для формирования образовательных траекторий.

Что должны делать высшие учебные заведения в данной ситуации? Как должна выглядеть траектория развития человека с точки зрения получения базового уровня образования, обеспечивающего получение компетенций для совершенствования своих знаний в течение дальнейшей жизни? Есть ли необходимость в системе образования, основанной на градации уровней образования, и как можно объективно учитывать цифровые профили компетенций? Как сделать выбор между комплексной образовательной программой того или иного университета и онлайн-курсами из различных университетов? Смогут ли университеты традиционного образования отстаивать свое право на реализацию программ высшего образования с использованием современной модели образования, основанной на индивидуальных траекториях и цифровых портфолио студентов, обеспечивая при этом, признание квалификационных характеристик на основе опыта и личных достижений?

Одно из решений обозначенных проблем мы видим в разработке платформы, позволяющей обучающимся выбирать индивидуальные образовательные траектории, которые будут соответствовать действующим образовательным стандартам, профессиональным стандартам и запросам работодателей. Платформа должна позволять производить разработку «атомарного» образовательного контента, предоставлять возможность внешним экспертам или представителям работодателей оценивать контент образовательной программы или модуля и влиять на его содержание. Платформа должна предоставлять тьюторам, преподавателям и работодателям сведения о цифровом портфолио обучающегося и сферах его дополнительных интересов.

Понятие «электронная информационно-образовательная среда» (далее – ЭИОС) сегодня прочно вошло в практику деятельности вузов страны, так как является важнейшим элементом системы формирования компетенций обучающихся и выпускников в соответствии с требованиями Федеральных государственных стандартов высшего образования.

Образование на современном этапе немислимо без использования информационно-коммуникационных технологий. Автоматизированные информационные системы, электронные информационные и образовательные ресурсы обеспечивают частичное

или даже полное освоение основных образовательных программ высшего образования обучающимися, независимо от времени и места их нахождения. При этом мы не снижаем роль контактной работы преподавателя и студентов. И если ранее рассматривали информационно-образовательную среду вуза с некоторыми элементами дистанционных технологий и частичного электронного обучения, то сейчас можно говорить о внедрении в образовательный процесс ЭИОС вуза. Главное назначение ЭИОС – приобретение знаний, умений, навыков и компетенций обучающимися в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами, независимо от времени и места нахождения студентов.

Сегодняшний этап развития ЭИОС характеризуется тем, что электронная информационно-образовательная среда превратилась в необходимый и обязательный элемент в образовательной системе. Независимо от местонахождения обучающегося, система обеспечивает освоение образовательных программ в полном объеме. В период пандемии особенно актуальным стало проведение дистанционных лекций, семинаров, тестов и экзаменов. В связи с этим уделяется особое внимание постоянному совершенствованию электронной среды в учебном заведении.

Высокая значимость для развития человеческого капитала для нашей страны, соответствие целям и задачам национального проекта РФ «Образование», при этом, недостаточная теоретическая и практическая проработка проблемы формирования новой модели цифровой образовательной среды между университетами, цифровыми платформами и работодателями определяют несомненную актуальность данной работы.

Настоящая работа посвящена проектированию и разработке технологических модулей в рамках комплексного проекта по созданию единой системы управления образовательным процессом аккредитованного образовательного частного заведения «Московский финансово-юридический университет МФЮА», включая элементы технологической платформы необходимые для совместного с работодателями формирования атомарного контента образовательных программ, управления правами пользователей и формирования индивидуальных образовательных траекторий студентов, накопительного контроля посещаемости

курсов всех форм обучения и машинного анализа взаимодействия участников образовательного процесса в рамках электронно-информационной образовательной среды.

На основе анализа литературных источников и исследований характеристик существующих платформ управления образовательным процессом в рамках единой электронно-информационной образовательной среды были спроектированы, разработаны и введены в действие элементы технологической платформы необходимые для:

- формирования структурированного атомарного контента образовательных программ;
- обеспечения научно-педагогических работников, работодателей и иных представителей профессиональных сообществ возможностью разработки и корректировки учебных материалов удаленно;
- централизованного управления правами всех типов пользователей;
- формирования индивидуальных образовательных траекторий студентов;
- накопительного контроля посещаемости курсов всех форм обучения;
- возможности машинного анализа общения участников образовательного процесса и прогнозирования успеваемости.

В результате реализации данного вектора развития платформы вуз получает принципиально новый инструментарий для управления образовательными траекториями, способствующий более объективной оценке компетенций студентов, формированию и сопровождению точных многопараметрических траекторий профессионального развития, предиктивной мотивации наиболее талантливых обучающихся. Такой подход к подготовке кадров для стратегических производственных отраслей в партнерстве многопрофильного вуза с предприятиями реального сектора экономики обеспечит конкурентное преимущество его выпускников, целостность и единство в достижении цели научно-технологического развития России, развитию ее интеллектуального потенциала.

Литература

1. *Gorshkov G.S., Polezhaev V.D.* The Development of the Information and Educational Environment of the University through the Improvement of a Multifunctional Technological Platform // Proceedings 6th International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino 2022). – 2022.
2. *Polezhaev V.D., Polezhaeva L.N., Kamenev V.V.* Use of information and communication technologies for teaching physics at the technical university // AIP Conference Proceedings "Information Technologies in Education of the XXI Century, ITE-XXI 2015: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference "Information Technologies in Education of the XXI Century". – 2017. – P. 030013. – DOI: 10.1063/1.4972452.
3. *Горшков Г.С.* Разработка технологической платформы для прозрачного взаимодействия участников образовательного процесса и индивидуализации образовательных траекторий учащихся в МФЮА. – М.: ВШЭ, 2020. – URL: <https://www.hse.ru/edu/vkr/343113305>.
4. *Полежаев В.Д., Полежаева Л.Н., Корзинова Е.И.* Использование информационных и коммуникационных технологий при обучении студентов с ограниченными возможностями здоровья графическим дисциплинам // Право и практика. – 2017. – № 3. – С. 217–222.

Е.В. Рабинович

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

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСЕЙ СИНФАЗНОСТИ НА СЕЙСМОГРАММАХ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН

Изображение одинаково упорядоченных совокупностей импульсов на сейсотрассах, расположенных последовательно вдоль профиля наблюдения, называют осями синфазности волн. Структура глубинно-скоростной модели геологической среды выявляется в результате прослеживания и корреляции на исходных сейсмограммах интенсивных и протяженных осей синфазности полезных волн. Количество отражающих границ модели соответствует количеству выделенных осей.

В основном методе сейсморазведки - методе отраженных волн - выделение интерпретатором осей синфазности целевых волн осуществляется на основе различимых им первых вступлений (начал) отраженных сейсмических импульсов (ОСИ). Однако эта процедура характеризуется неопределенностью, связанной с трудностью выявления первых вступлений ОСИ в условиях помех и шумов микросейсмической обстановки при регистрации сейсмических 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 докладе предлагается заменить субъективное выделение осей синфазности целевых волн применением локационной технологии, основанной на алгоритмах статистической радиотехники для обнаружения при наличии аддитивных помех и локации фаз сейсмических импульсов, отраженных от глубинных границ

исследуемой среды. Это дает надежное выделение осей синфазности на основе наиболее мощной фазы ОСИ, а не первого вступления.

В данной технологии сейсмическая система наблюдения на базе линейной многоканальной цифровой сейсморегистрирующей станции играет роль цифровой антенной решетки. Она регистрирует колебания, возбужденные источником, и если на сейсмотрассе обнаружен ОСИ, то, в рамках априорных предположений о свойствах среды, технология осуществляет локацию (оценку расположения и запись формы) его мгновенных фаз. В результате моделирования процесса локации этих фаз появляется возможность объективного построения осей синфазности отраженных волн.

В [1] автором предложена модель отраженной сейсмической волны в виде двухпараметрического солитона огибающей [2]. Эта модель используется алгоритмом квадратурной корреляции [3] в качестве образцового импульса при обнаружении ОСИ на сейсмотрассе.

Корреляционное обнаружение обеспечивает подавление во входном сигнале не только случайного шума, но и регулярной помехи в виде нецелевых импульсов, отличающихся формой от образца. Таким образом, выполняется фильтрация, согласованная с формой образцового импульса, что позволяет отказаться от предварительного пространственно-частотного подавления составляющих входного сигнала.

Локация фаз обнаруженного ОСИ осуществляется вычислением значений мгновенной фазы аналитического сигнала соответствующего отрезка сейсмотрассы.

Совместное применение алгоритмов обнаружения и локации мгновенных фаз обеспечивают оценку координат экстремумов записи ОСИ на сейсмотрассах. Вычисление линий, последовательно соединяющих временные координаты таких экстремумов, содержащихся в гиперболических трубах, моделирует оси синфазности. Для качественного выбора из множества подходящих гипербол применяется специальный оптимизационный алгоритм.

Каждая из полученных фаз ОСИ может служить для изображения соответствующей оси синфазности. Наличие выбора из

нескольких фаз одного ОСИ улучшает надежность моделирования. Для выделения оси, соответствующей «истинной» точке отражения волны от горизонта глубинно-скоростной модели геологической среды, используется моделирование накопления на сейсмотрассах энергии волны.

Предложенная локационная сейсмическая технология позволяет достоверно оценивать расположение на сейсмограммах осей синфазности отраженных волн. 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.

Литература

1. *Rabinovich E.V., Filipenko N.Y., Shefel G.S.* Generalized model of seismic pulse // International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1015 (2018) 052025.
2. *Косевич А.М., Ковалев А.С.* Введение в нелинейную физическую механику. – Киев: Наукова думка, 1989. – 304 с.
3. *Тихонов В.И.* Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.

Д.В. Шлёнкин, В.А. Глущенко, Г.Ф. Низамова

*Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Россия*

РАСПОЗНАВАНИЕ ЛИЦ СОТРУДНИКОВ НА ОСНОВЕ ПРЕДОБУЧЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В современном мире практически везде используются камеры для осуществления контроля или обеспечения безопасности в различных организациях и публичных местах. Большое количество видеокамер не гарантирует безопасность людей, потому что сотрудники, наблюдающие за мониторами, не могут обработать весь поток информации на протяжении длительного промежутка времени либо рабочего дня. Поэтому, если на территорию с ограниченным доступом попадёт человек, который не должен там присутствовать, то сотрудник, отвечающий за безопасность предприятия (организации), может не заметить, что этот человек является посторонним. Существует большое количество сфер, где распознавание лиц необходимо, но в современном мире такие программы не сильно распространены.

Решением данных проблем может служить наличие на технических устройствах системы распознавания и классификации лиц. С помощью данного программного обеспечения могут быть решены проблемы с незаконным или нежелательным проникновением посторонних лиц на запрещенную им территорию.

В рамках данного решения рассматривается распознавание и классификация лиц с помощью компьютерного зрения. Алгоритмы компьютерного зрения позволяют обрабатывать видеопоток информации с камер видеонаблюдения, с помощью свёрточной нейронной сети обнаруживать «ключевые» точки на лице человека. «Ключевыми» точками в данном случае служат такие точки, которые могут являться контурами конкретных частей лица. Далее, посредством математических вычислений, произво-

дится сравнение точек распознанного лица с точками лиц, внесённых в базу данных.

Стек использованных программных средств:

1. Язык программирования Python. Библиотека «opencv».

Библиотека «opencv» позволяет реализовать следующий функционал:

– Получение изображения с видеопотока;

– Работа с изображениями и видео;

2. Нейросеть для распознавания лиц: «resnet», которая находит на лице 68 точек.

В случае получения «ключевых» точек, после обработки конкретного изображения, происходит вычисление расстояния между точками. Все расстояния преобразуются в весовые коэффициенты, которые позволяют работать с распознанным лицом любого размера поскольку у каждого человека все точки расположены уникально.

Пример работы программы:

Для сохранения цифрового отпечатка лица используем алгоритм, который находит все точки, и сохраняет вектор расстояний между ними (рис. 1).



Рис. 1. Визуализация нахождения ключевых точек

Во время работы основного алгоритма, при обнаружении на камере лица, будут считаны его «ключевые» точки для сравнения с набором имеющихся точек в базе данных. Если данные «ключевые» точки совпадают с каким-либо набором точек в базе данных, то данное лицо выделяется и высвечивается его id (уникальный номер) в базе данных. Иначе лицо помечается красным прямоугольником с надписью «Unknown» (неизвестный) (рис. 2).

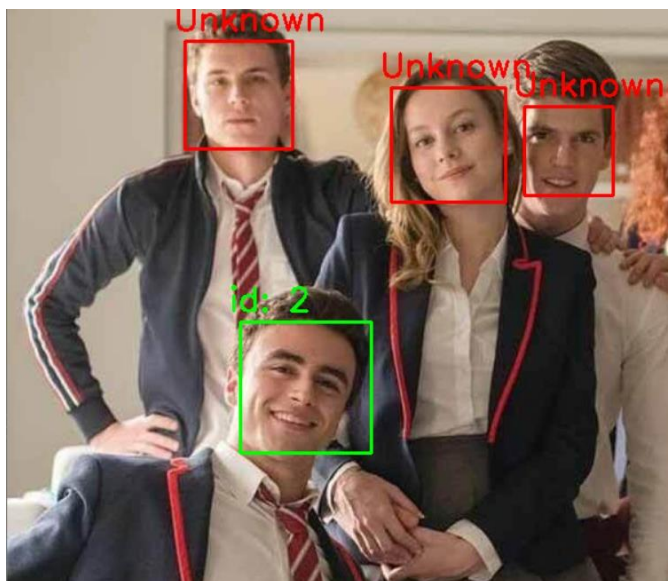


Рис. 2. Распознавание лиц

Данная программная реализация может служить полезной утилитой для любого предприятия, организации, в котором имеется наличие зон с ограниченным доступом.

Литература

1. Компьютерное зрение: технологии, рынок, перспективы: отчет TAdviser, 2018. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Компьютерное зрение: технологии, рынок, перспективы](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Компьютерное_зрение:_технологии,_рынок,_перспективы) (дата обращения: 20.01.2023).
2. Шапиро Дж. Стокман. Компьютерное зрение. – М.: Бином; Лаборатория знаний, 2006.

3. Блог Яндекса. Как это работает? Компьютерное зрение. – URL: <https://yandex.ru/blog/company/80564> (дата обращения: 10.01.2023).
4. Обнаружение и распознавание лиц на python. – URL: <https://robotos.in/uroki/obnaruzhenie-i-raspoznavanie-litsa-na-python> (дата обращения: 21.01.2023).
5. Распознавание объектов на Python / Глубокое машинное обучение. – URL: <https://itproger.com/news/raspoznavanie-obaektov-na-python-glubokoe-mashinnoe-obuchenie> (дата обращения: 15.01.2023).

В.В. Чернова, Е.М. Веселова

*Амурский государственный университет,
г. Благовещенск, Россия*

**ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ
КРАТКОСРОЧНОЙ ДИНАМИКИ РАКОВОЙ ОПУХОЛИ
ПРИ ЛЕЧЕНИИ ОНКОЛИТИЧЕСКИМИ ВИРУСАМИ***

На сегодняшний день посредством численного моделирования решается большое количество различных прикладных задач биологии, в том числе и прогнозирование лечения раковой опухоли различными методами. Но многие виды рака невосприимчивы к традиционным методам лечения, что требует разработки новых подходов, среди которых инновационным и перспективным считается метод онколитической виротерапии. Онколитические вирусы избирательно атакуют и размножаются в раковых клетках, сохраняя при этом нормальные ткани.

Цель работы заключается в программной реализации математической модели роста раковой опухоли с учетом лечения онколитическими вирусами.

Рассмотрена математическая модель, предложенная группой исследователей [1; 2] для решения прикладной задачи лечения онкологии при помощи онколитической виротерапии. Модель формализована в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений:

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

$$\begin{cases} \frac{dU}{dt} = rU - \beta \frac{UV}{N} - c_k I \frac{UT}{N} \\ \frac{dI}{dt} = \beta \frac{UV}{N} - \delta_I I - c_k I \frac{IT}{N} \\ \frac{dV}{dt} = u(t) + \alpha \delta_I I - \delta_V V \\ \frac{dT}{dt} = c_T I + pA - \delta_T T \\ \frac{dA}{dt} = c_A I - \delta_A A \end{cases}$$

где U – количество неинфицированных опухолевых клеток; I – количество инфицированных опухолевых клеток; V – количество вирионов; T – количество Т-клеток в месте опухоли; A – количество APC в месте опухоли; $N = U + I + V + A$; $r, p, \alpha, \beta, c_k, c_T, c_A, \delta_I, \delta_V, \delta_T, \delta_A$ – положительные параметры; $u(t)$ – количество новых вирионов вводимых в i -й день лечения.

Для реализации модели в ППП Matlab методом Рунге-Кутты четвертого порядка иницированы следующие параметры модели [1; 2]: $r = 0.31$ день⁻¹, $p = 1$ день⁻¹, $\alpha = 3500$, $\beta = 8.9 \cdot 10^{-4}$ день⁻¹, $c_k = 8.5 \cdot 10^{-7}$ ед.⁻¹ день⁻¹, $c_T = 1.28$ день⁻¹, $c_A = 0.22$ день⁻¹, $\delta_I = 1$ день⁻¹, $\delta_V = 2.3$ день⁻¹, $\delta_T = \delta_A = 0.35$ день⁻¹ при начальных условиях: $U(0) = 10$ ед., $I(0) = 8$ ед., $V(0) = 0$ ед., $T(0) = 3$ ед., $A(0) = 1$ ед., $t \in [0; 25]$ дней.

В ППП Matlab разработан графический интерфейс пользователя для удобства представления результатов численной реализации модели. На главной форме находятся две функциональные кнопки и поля для ввода начальных данных и времени исследования. Графическая визуализация результата позволяет оценить количество инфицированных и неинфицированных клеток с течением времени.

Моделирование роста раковой опухоли с учетом лечения онколитическими вирусами

Количество неинфицированных опухолевых клеток

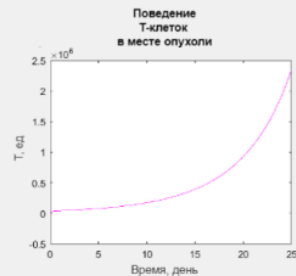
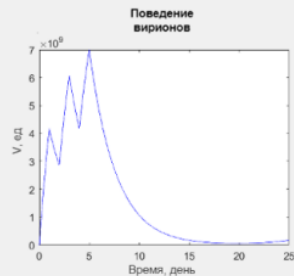
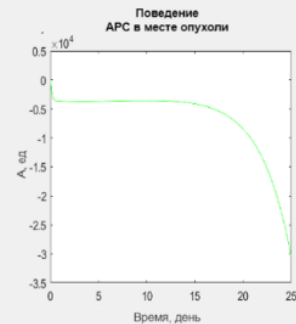
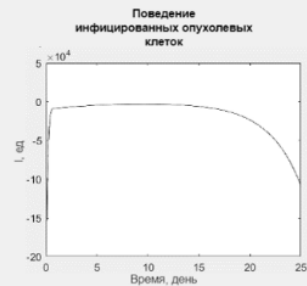
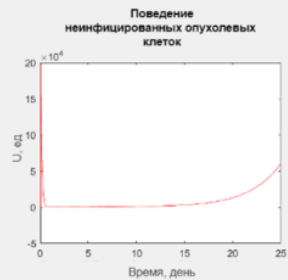
Количество инфицированных опухолевых клеток

Количество вирусов

Количество Т-клеток в месте опухоли

Количество APC в месте опухоли

Время исследования



Смоделировать

Выход

Графическая визуализация

Варьируя начальные параметры модели, можно оценить краткосрочную динамику роста раковой опухоли при лечении онколитическими вирусами.

Литература

1. *Kim P.S., Crivelli J.J., Choi I. et al.* Quantitative impact of immunomodulation versus oncolysis with cytokine-expressing virus therapeutics // *Mathematical Biosciences and Engineering*. – 2015. – Vol. 12. – P. 841–858. – DOI: 10.3934/mbe.2015.12.841.
2. *Abernathy Z., Abernathy K., Stevens J.* A mathematical model for tumor growth and treatment using virotherapy // *AIMS Mathematics*. – 2020. – Vol. 5, iss. 5. – P. 4136–4150. – DOI: 10.3934/math.2020265.

В.И. Башев

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

ШАБЛОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРОЦЕСС-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПАРАДИГМЕ НА ПРИМЕРЕ ЯЗЫКА роST

Язык роST [1] – процесс-ориентированное расширения языка Structured Text из семейства языков IEC 61131-3 [2]. Предназначен для создания программного обеспечения для программируемых логических контроллеров и ориентирован на решение задач киберфизических систем и промышленной автоматизации.

В основе языка роST заложена процесс-ориентированная парадигма программирования [3], основная идея которой заключена в использовании множества процессов. Процесс описывается в виде расширенного конечного автомата с состояниями, реакциями на состояние и переходами. Расширение заключается в наличии остановочных состояний, наличии средств синхронизации своего исполнения, и возможности контролировать состояние других процессов. Таким образом, программа на языке роST представляет из себя множество параллельно исполняющихся процессов, взаимодействующих друг с другом.

При практической апробации языка роST была обнаружена проблема наличия одинаковых процессов. Если в системе есть дублирующие элементы, а в случае систем промышленной автоматизации такие элементы встречаются достаточно часто, приходится копировать процессы с изменением используемых сигналов. Это является достаточно большим минусом языка роST. В процесс-ориентированной парадигме нельзя вынести часть функционала в отдельную подпрограмму, как, например, функцию в процедурной парадигме.

Для решения этой проблемы было предложено использовать шаблонные процессы. Шаблонные процессы, в отличие от

обычных, не являются частью исполняемого кода, а являются отдельной подпрограммой, вынесенной в отдельную сущность и существующие только для переопределения с использованием конкретных сигналов.

В структуру шаблонного процесса были введены: входные / выходные переменные и переменные процессов. Входные / выходные переменные определяют входные и выходные сигналы шаблонного процесса, синтаксис и семантика аналогичны ИЕС 61131-3, а переменные процессов является нововведением. Поскольку в процесс-ориентированной парадигме все процессы взаимодействуют друг с другом, то есть могут запускать, останавливать и проверять состояние друг друга, то для поддержания данной парадигмы было предложено добавить переменные процессов. Такие переменные переопределяются реальными процессами, создается канал управления между процессами и далее взаимодействие процессов происходит именно через данные переменные процессов.

Помимо модификации описания исходного кода языка роST, изменениям в синтаксисе и семантике подверглась и система конфигурации ИЕС 61131-3. При конфигурировании программы, вместе с переопределением входных / выходных сигналов программы, появилась возможность дополнительно определять процессы из шаблонных процессов. При определении процесса определяются входные / выходные сигналы для текущего процесса и переменные процессов.

Апробация разработанного подхода проводилась на задаче 3-х этажного лифта, в котором дублирующие элементы представлены в виде этажей. Программа на языке роST была написана в 2-х версиях: без применения шаблонных процессов и с ними. При этом исходный код уменьшился более чем в 2 раза, увеличилась читаемость кода и появилась возможность масштабирования программы. При этом дублирование кода свелось к минимуму — описанию процессов в конфигурации.

Введение шаблонных процессов позволяет избавиться от дублирования кода и дает возможность менять сигналы в дублирующих элементах, что открывает возможности масштабирования программ, создания подпрограмм и реализации библиотек языка роST.

Ознакомиться с языком роST и принципами шаблонных процессом можно с помощью web сервиса трансляции роST программ [4] на сайте <http://post2st.iae.nsk.su>.

Литература

1. *Bashev V., Anureev I., Zyubin V.* The Post Language: Process-Oriented Extension for IEC 61131-3 Structured Text // 2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) (Sochi, Russia). – 2020. – P. 994–999. – DOI: 10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208049.
2. IEC 61131-3 Programmable controllers. Part 3: Programming languages // International Electrotechnic Commission. – 2013.
3. *Zyubin V. E.* Hyper-automaton: A model of control algorithms // 2007 Siberian Conference on Control and Communications. – IEEE, 2007. – P. 51–57.
4. *Bashev V., Rozov A., Zyubin V.* PoST2ST: a Web Service for Translating роST Programs to the IEC 61131-3 Structured Text // 2021 IEEE 22nd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM). – IEEE, 2021. – P. 520–523.

К.И. Будников, А.В. Курочкин

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

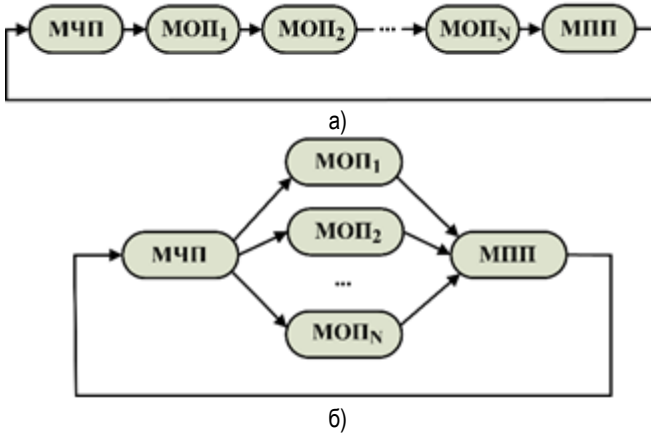
ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ СИНХРОНИЗАЦИИ ПОТОКОВ ОС WINDOWS И LINUX ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ НТТР/НТТРС-ФИЛЬТРАЦИИ

В процессе анализа сетевого трафика и, в частности, фильтрации постоянно растущего объема НТТР/НТТРС-запросов, обрабатывается огромное количество сетевых пакетов, проходящих по линиям связи. Это вынуждает использовать для фильтрации более мощное вычислительное оборудование и увеличивать производительность за счет архитектурных решений, позволяющих распараллеливать вычисления. Цель данной работы – сравнительный анализ производительности инструментов синхронизации потоков в ОС Windows и Linux, применительно к системам НТТР/НТТРС–фильтрации.

Программная модель НТТР/НТТРС-фильтра [1], разработанная в ИАиЭ СО РАН, представляет собой многопоточное приложение. Программа состоит из двух каналов обработки пакетов: первый – от клиента к серверу, второй – от сервера к клиенту. В состав каждого канала входят следующие модули: чтения пакетов (МЧП), сортировки пакетов (МСП), анализа пакетов (МАП) и передачи пакетов (МПП).

Для проведения экспериментального исследования созданы программные модели упрощённого устройства фильтрации (рис.) на основе двух методов распараллеливанию вычислений: «конвейер» – вариант (а) и «ведущий-ведомый» – вариант (b) [2]. Первый метод предполагает разбиение алгоритма работы на несколько этапов: чтение, сортировка, анализ и передача. Этапы для разных пакетов могут выполняться одновременно. Вариант обработки «ведущий-ведомый» позволяет разделить проходящий через устройство трафик на отдельные независимые по-

токи по параметрам пакетов. Это позволяет организовать внутри устройства несколько параллельных каналов фильтрации. В обеих моделях помимо МЧП и МПП присутствуют универсальные модули обработки пакетов (МОП).



Исследуемые программные модели фильтров

В реализациях представленных моделей на ОС Windows для совместного использования потоками смежных модулей общей очереди пакетов используется «критическая секция», а организация процедуры ожидание-извещение выполняется либо с помощью объекта ядра «событие» совместно с функцией ожидания WaitForSingleObject или WaitForMultipleObjects, либо – инструмента «условная переменная» [3]. В ОС Linux используются соответственно «мьютекс» из библиотеки pthread, файловый дескриптор, создаваемый функцией eventfd(), в сочетании с функцией poll() или вариант «условной переменной» из pthread [4].

В процессе испытаний рассмотренных моделей фильтра измерялось среднее время обработки пакета в системе (время его прохождения от МЧП до МПП включительно) при различных интенсивностях создаваемого трафика. МОП не выполняет реальных операций по фильтрации, поэтому можно считать, что измерялись накладные затраты программы по времени. На основе анализа собранных данных можно сформулировать следующие выводы.

1. Модели с «условными переменными» имеют более высокую производительность. Например, в ОС Windows подобная программа с конвейерной архитектурой и четырьмя МОП анализирует трафик максимальной интенсивности до 2,4 раза быстрее, а в варианте «ведущий-ведомый» – до 3,9 раза, чем программы с применением объектов ядра «событие». Для ОС Linux – до 4,3 и 3,8 раза соответственно по сравнению с решениями, использующими файловые дескрипторы. Дальнейшие выводы относятся только к моделям, использующим «условные переменные».

2. Модели типа «ведущий-ведомый» имеют меньшую задержку чем конвейерные программы с аналогичным количеством МОП, при условии, что их число больше 1. Выигрыш модели «ведущий-ведомый» с четырьмя МОП при обработке максимального трафика доходит до 2,6 раз.

3. Подход «ведущий-ведомый» обеспечивает наименьший прирост времени обработки при увеличении количества МОП. Например, изменение числа МОП с 1 на 4 приводит к увеличению задержки не более чем на 16 %. При конвейерной архитектуре подобный прирост доходит до 90 %.

4. При максимальной интенсивности трафика равнозначные по составу модели фильтров, реализованные для ОС Windows и Linux, показали примерно одинаковые результаты.

Литература

1. Будников К.И., Курочкин А.В. Программное моделирование устройства обработки сетевого трафика в информационной системе // Автоматрия. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 66–74.
2. Silva L.M., Buaya R. Parallel programming models and paradigms // High Performance Cluster Computing: Architectures and Systems. – 1999. – Vol. 2. – P. 4–27.
3. Руссинович М., Соломон Д. Внутреннее устройство Microsoft Windows. 6-е изд. – СПб.: Питер, 2013.
4. Керриск М. Linux API. Исчерпывающее руководство. – СПб.: Питер, 2019.

Д.А. Пермяшкин

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

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ КОНФЛИКТОВ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ В ПРОЦЕСС-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПАРАДИГМЕ

Автоматизация производств является одной из актуальных тем для обсуждения в современном мире. И это связано не только с увеличением числа автоматизированных процессов. И не только с увеличением сложности производственных процессов до уровня, что только автоматические системы могут выполнять их. Но и с очень интересным вопросом — до какой степени можно уменьшить роль человека после автоматизации производства? Одной из тем, поднимаемых в рамках Индустрии 4.0, как раз является поиск ответа на данный вопрос. И для этого требуется изучать не просто возможность реализации параллельных вычислений, но и свойства реализаций и насколько они подходят для промышленной автоматизации.

И хоть на первый взгляд кажется, что реализация параллельных вычислений для целей производственных процессов является простой задачей из-за высокой степени параллельности самих процессов, но есть несколько проблем. Одной из очевидных проблем является слабая мощность вычислительных узлов киберфизической системы. На данный момент уже существуют множество различных алгоритмов на основе взаимного исключения [1; 2], включая алгоритмы без больших затрат вычислительных ресурсов. Второй большой проблемой является требование к отказоустойчивости киберфизической системы. И хоть критерии устойчивых параллельных вычислений уже были сформированы Лампортом в 1986 году [3], но долгое время отказоустойчивость была целиком ответственностью разработчика системы.

В Институте автоматизации и электротехники СО РАН была предложена, подтверждена практически и активно исследуется парадигма процесс-ориентированного программирования [4]. Данная парадигма подтверждена практически и показывает хорошие результаты для решения задачи автоматизации промышленных процессов. В рамках данной парадигмы предлагается рассматривать программу как гиперпроцесс, состоящей из процессов. И встает вопрос – насколько данная парадигма позволяет реализовать устойчивые параллельные вычисления, которые подойдут для целей Индустрии 4.0.

В качестве конкурирующих процессов в процесс-ориентированной парадигме определено рассматривать процессы, которые приводят к изменению поведения программы при изменении порядка их активации. Выявлено, что для решения проблемы конкурирующих процессов могут быть использованы подходы, разработанные в рамках теории параллельных вычислений. Специфицированы возможные ситуации конфликтов между процессами: конфликт при записи в переменную, в том числе, отображаемую на физический выходной сигнал; конфликт при управлении общим процессом; конфликт порядка операций чтения-записи для реакций, зависящей от состояния внешних переменных. Установлено, что для процесс-ориентированных программ конструктивно выполняются три критерия устойчивой к отказам параллельной программы по Лампорту из четырех [3]. Четвертый критерий самостабилизации (наличие процедур восстановления процессов из состояния ошибки) в процесс-ориентированной программе должен быть реализован на уровне алгоритма с последующей процедурой верификации.

В дальнейшем планируется классифицировать возможные отказы, предложить и исследовать методы обеспечения критерия самостабилизации.

Литература

1. *Dijkstra E. W.* Solution of a problem in concurrent programming control // *Pioneers and Their Contributions to Software Engineering.* – Springer, Berlin, Heidelberg, 2001. – С. 289–294.

2. *Knuth D.E.* Additional comments on a problem in concurrent programming control // *Communications of the ACM.* – 1966. – Т. 9, №. 5. – P. 321–322.
3. *Lamport L.* The mutual exclusion problem: part II – Statement and solutions // *Concurrency: the Works of Leslie Lamport.* – 2019. – P. 247–276.
4. *Зюбин В.Е.* Язык Рефлекс. Математическая модель алгоритмов управления // *Датчики и системы.* – 2006. – №. 5. – С. 24–30.

А.В. Сидоров, К.И. Будников

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МНОГОФАЗНОГО ПОТОКА СО СКВАЖИНЫ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Нефтедобыча – одна из крупнейших и важнейших отраслей современной промышленности. Разведка новых нефтяных месторождений и бурение нефтедобывающих скважин требуют больших временных и финансовых затрат, поэтому мониторингу состояния и производительности эксплуатируемых скважин отводится повышенное внимание.

Один из способов контроля – измерение скорости протекания или расхода нефтяных фракций через трубопровод. В настоящее время для этого на большинстве скважин установлен сепаратор – установка, разделяющая сырую нефть на фракции: нефть, газ, вода. Расход каждой составляющей измеряется отдельно. Такой подход позволяет наиболее точно определить расход, однако требует значительного времени и средств.

Альтернативный подход связан с использованием многофазных расходомеров, для которых существуют только эмпирически полученные формулы расчета расходов с использованием различных измерений. Подобные эмпирические формулы не могут показать точность измерений, сопоставимых с классическими методами.

В настоящее время популярно применение различных методов искусственного интеллекта для оценки процентного содержания жидких фракций в нефтяном потоке из скважины [1–3]. Для создания различных моделей для прогнозирования производительности скважин с высоким газовым фактором и содержанием воды использовались машина опорных векторов (SVM), случайные леса (RF). Для оценки скважин в газоносных песчани-

ках применялись искусственные нейронные сети (ANN) и адаптивная нейро-нечеткая система вывода (ANFIS). Все они показали хорошие результаты. Создание новых методов прогноза расхода потока из скважины остается актуальной задачей.

Цель данной работы исследование характеристик нейронных сетей разных архитектур для предсказания параметров многофазного потока со скважины. Для проведения исследования использовались показания с датчиков многофазных расходомеров на основе трубки Вентури и рентгеновского расходомера. В качестве целевых признаков использовались данные о расходе воды(qw_sc), газа(qg_sc) и нефти(qo_sc). Входными параметрами служили:

1. Показатели датчиков рентгеновского расходомера – это показатели числа фотонов различных энергий 32 кЭв(N32), 81 кЭв(N81) и 356 кЭв(N356), а также общее число фотонов (NTotal).

2. Показатели датчиков с трубки Вентури – данные о перепаде давления на трубке (DPV), а также температуры (TL) и давления (PL) на входе.

3. Данные о плотности и вязкости флюида (GOR, μ_{o_lc} , μ_{l_lc}).

Для оценки точности аппроксимации использовалась метрика R^2 – коэффициент детерминации.

$$R^2 = 1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_y^2},$$

где σ_y^2 – дисперсия случайной величины, а σ^2 – дисперсия ошибки модели.

В качестве функции потерь для обучения использовалась среднеквадратичное отклонение:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

Исследовались модели измерителей на основе классического перцептрона, рекуррентной сети (RNN) и LSTM. Для обучения использовались 70 % данных и 30 % для проверки. После проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы.

1. Применение нейронных сетей для увеличения точности показаний многофазных расходомеров дает положительный эффект. Качество предсказания расхода по метрике R^2 составило 92 % для нефти и 94 % для газа.

2. Установлено преимущество рекуррентных нейронных сетей над классическим перцептроном.

3. RNN и LSTM показали близкие результаты по точности.

4. Расходомер с трубкой Вентури показал преимущество перед рентгеновским расходомером.

Литература

1. *Ahmed Farid Ibrahim, Redha Al-Dhaif, Salaheldin Elkatatny, Dhafer Al Shehri.* Applications of Artificial Intelligence to Predict Oil Rate for High Gas–Oil Ratio and Water-Cut Wells // ACS Omega. – 2021. – Vol. 6, no. 30. – P. 19484–19493. – DOI: 10.1021/acsomega.1c01676.
2. *Ruiz M., Obando A., Alvarez H.* Combined artificial intelligence modeling for production forecast in an oil field // CT&F – Ciencia, Tecnología y Futuro. – 2019. – Vol. 9, no. 1. – P. 27–35. – DOI: 10.29047/01225383.149.
3. *Khamis M., Elhaj M., Abdulraheem A.* Optimization of choke size for two-phase flow using artificial intelligence // J Petrol Explor Prod Technol. – 2020. – Vol. 10, no. 2. – P. 487–500.
4. *Сидоров А.В.* Разработка нейронной сети прогнозирования параметров многофазного потока со скважины // Информационные технологии. Цифровые технологии нефтегазовой индустрии: материалы 60-й Междунар. науч. студ. конф. 10–20 апреля 2022 г. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2022. – С. 114. – URL: <https://e-lib.nsu.ru/reader/bookView.html?params=UmVzb3VyY2UtNzkwNw/cGFnZTAwMDAw>.

А.Д. Харченко

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

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ОБЛАЧНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЯЗЫКА roST

Использование цифровых автоматизированных систем управления в современной промышленной индустрии встречается повсеместно. Программирование управляющих алгоритмов для таких систем – одна из важнейших задач. При приобретении практических знаний в данной индустрии возникают проблемы, связанные со сложностями в предоставлении объектов управления. Наиболее перспективным способом организации практических занятий по курсам промышленной автоматизации является использование программных имитаторов – виртуальных лабораторных стендов (ВЛС).

В ИАиЭ СО РАН активно разрабатываются языковые и инструментальные средства процесс-ориентированного программирования. Один из недавних результатов – язык roST, предназначенный для спецификации управляющих программ промышленными объектами в рамках концепции IEC 61131-3.

В связи с появлением языка roST и переориентацией исследований на IEC 61131-3 концепцию, ранее наиболее привлекательной выглядела организация лабораторных работ на базе одного из существующих IDE IEC 61131-3 CODESYS, но в связи с последними событиями данная среда разработки стала недоступна в России. Поэтому было решено рассмотреть возможность создания собственной среды разработки для программирования ВЛС.

Целью была определена разработка архитектуры облачных лабораторных стендов для изучения языка roST.

Исходя из особенностей работы и проведённого анализа архитектур ВЛС в существующих программных средствах

CODESYS и LabVIEW [1–3] сформирован список требований к разрабатываемому подходу:

1. Необходимо создать транслятор на язык Python с языка roST.

2. ВЛС должен разделяться на отдельно программируемые Алгоритм управления и Виртуальный объект управления

3. Алгоритм управления и Виртуальный объект управления должны взаимодействовать друг с другом только через массив данных, где каждому модулю выделена зона записи, соответствующая зоне чтения другого модуля.

4. Должен быть реализован НМІ для отслеживания значений переменных в модулях и управления значениями переменных на входах алгоритма управления и виртуального объекта управления.

5. Виртуальный Объекта управления должен быть визуализирован.

6. Должен быть реализован «ручной» и «автоматизированный» режимов управления объектом.

7. На интерфейсе оператора должны отображаться исходный код исполняемой программы; текущее слово состояния процессов, значения внутренних переменных алгоритма управления; значения переменных обоих модулей в НМІ; визуализация ВОУ.

Исходя из вышеперечисленных требований была разработана архитектура ВЛС построенного в web приложении.

Мы разделяем две роли: программист и оператор ВЛС. Программист имеет изначально два окна (алгоритм управления и ВОУ) с возможностью написания в них кода на языке roST, который в дальнейшем будет в виде файла на сервер, где трансляторы на язык python создадут файлы на языке python, которые в последствии будут реализовываться на Python-Interpreter (-ax) связанных между собой двумя массивами данных: на вывод объекту и на ввод алгоритму управления. Программист так же имеет возможности запустить программу, отладить её, остановить, сохранить, загрузить, настроить НМІ для оператора, и главное посмотреть после каждого шага программы значения переменных, отсылаемые с сервера. Роль оператора заключается в работе с НМІ ВЛС. Он может при помощи него задавать начальные значе-

ния определённых переменных ВОР, управлять им и отслеживать визуально значения в переменных и текущее состояние процесса.

Окончательный результат работы предполагает создание средства программирования, представляющего из себя web приложение с возможностью написания управляющего алгоритма и Виртуального объекта управления на языке рoST и отслеживания работы данных модулей при помощи визуализации ВЛС и значений внутренних переменных в виде логов и НМІ.

Литература

1. *Зюбин В.Е.* Процесс-ориентированный подход к программированию управляющих алгоритмов в среде LabVIEW // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2011. – № 2. – С. 39–45.
2. *Зюбин В.Е.* Итерационная разработка управляющих алгоритмов на основе имитационного моделирования объекта управления // Автоматизация в промышленности. – 2010. – № 11. – С. 43–48.
3. *Лях Т.В., Зюбин В.Е., Гаранина Н.О.* Автоматизированная верификация алгоритмов управления сложными технологическими объектами на программных имитаторах // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2018. – Т. 16, № 4. – С. 85–94.

Д.В. Сеницын, В.Е. Зюбин

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

РАЗРАБОТКА ЯДРА ОБЛАЧНОЙ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ПРОЦЕСС-ОРИЕНТИРОВАННОГО РАСШИРЕНИЯ ЯЗЫКА СИ

В настоящее время все большую актуальность приобретают киберфизические системы на базе программируемых логических контроллеров (в дальнейшем ПЛК) [1]. Однако использование языков программирования общего назначения приводит к увеличению объема кода программного обеспечения данных устройств, а также к росту требований к квалификации разработчиков. В связи с этим в институте автоматики и электрометрии СО РАН были созданы узконаправленные процесс-ориентированные языки Reflex и Industrial-C, используемые для разработки ПО ПЛК. Оба языка реализуют общую модель гиперпроцесса, которая описывает киберфизические системы в виде конечного автомата. Данные технологии уже долгое время используются в практических задачах [2]. Тем не менее, присущие данным языкам недостатки не позволяют использовать их для решения некоторых задач.

Целью настоящей работы являлась унификация Reflex и Industrial-C для получения нового универсального средства программирования логических контроллеров. Дополнительно поставлена задача разработки ядра web среды разработки для возможности написания программ на полученном языковом средстве.

К преимуществам разрабатываемого языка относятся его кроссплатформенность, синтаксическая и семантическая простота, возможность работы с периферией целевых устройств, а также возможность обработки критических событий. В перспективе данный язык, совместно с ядром web среды разработки, поз-

волит существенно упростить разработку программного обеспечения для киберфизических систем на базе ПЛК.

На текущий момент проведен анализ существующих средств разработки, выбраны технологии для реализации ядра web ide языка, сформирован синтаксис языка и описаны правила трансляции языковых конструкций в конструкции языка Си. В дальнейшем планируется провести практическую реализацию в виде ядра среды разработки на базе фреймворка XText java-подобного языка XTend, с поддержкой Language server protocol [3] и провести апробацию разработанных средств на примере инициативной задачи по разработке ПО для метеосервера.

Литература

1. *Dierks H.* PLC-automata: A new class of implementable real-time automata // International AMAST Workshop on Aspects of Real-Time Systems and Concurrent and Distributed Software. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1997. – P. 111–125.
2. *Staroletov S. et al.* Modeling and Verification using Different Notations for CPSs: The OneWater-Tank Case Study // 2021 16th Conference on Computer Science and Intelligence Systems (FedCSIS). – IEEE, 2021. – P. 485–488.
3. *Gunasinghe N., Marcus N.* Language Server Protocol and Implementation: Supporting Language-Smart Editing and Programming Tools. – Apress, 2022. – 250 p.

А.С. Потанова

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ПО СПЕКТРАМ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

В настоящее время анализ данных используется в банковской сфере, медицине, маркетинге и других областях.

Здоровье – основополагающая сфера жизни человека. Оно отвечает за такие важные для человека аспекты жизни как счастье и успех. Вопросы контроля качества здоровья и скорости получения результатов всегда занимали людей.

Наша разработка заключается в применении газоанализатора, как быстрого неинвазивного метода получения знания о текущем состоянии здоровья.

Компанией ООО «Сайнтификкоин» была разработана установка “Health Monitor”, принцип диагностики которой основан на анализе выдоха человека. С ее помощью можно провести быстрое тестирование на различные заболевания путем измерения концентрации газов в выдыхаемом человеком воздухе. В основе работы газоанализатора лежит спектральный анализ.

В ходе работы были проанализированы специфика измерений, производимых прибором Health monitor, и существующие методы классификации. Были использованы библиотеки pandas, matplotlib, seaborn, numpy. Разработан комбинированный метод обработки и классификации входных данных прибором HealthMonitor с планируемым сокращением времени и повышением достоверности показаний. Реализован алгоритм генерации синтетических данных.

Были определены следующие методы исследования:

1. Синтез и конкретизация алгоритма через:

1.1. Преобразование классифицирующих характеристических спектрограмм в n-мерные точки;

- 1.2. Нахождение аффинного преобразования, дающего наибольшее разделение точек исходной выборки;
- 1.3. Классификации областей n -мерного пространства;
2. Классификация спектрограмм измерения через:
 - 2.1. Преобразование классифицируемой характеристической спектрограмм в n -мерную точку;
 - 2.2. Определения класса n -мерной точки методом ближайших соседей;
 - 2.3. Выдача результата в виде набора вероятностей принадлежности точки к базовым классам.

Литература

1. *Манойлов В. В. и др.* Методы обработки и классификации масс-спектров выдыхаемых газов с использованием дискриминантного анализа // Научное приборостроение. – 2016. – Т. 26, №. 3. – С. 50–56.
2. *Кузин Д.А. и др.* Применение методов машинного обучения для классификации акустических сигналов по спектральным характеристикам // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2021. – № 3. – С. 48–54.

А.М. Масеевский^{1,2}

¹ *Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет,
г. Новосибирск, Россия*

² *Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ПЛК

В области подготовки специалистов по программированию технических средств и тестирования программ происходит активное введение дистанционных и компьютерных технологий, всё, что для этого необходимо – подходящие программные средства, достаточно точно воспроизводящие работу реального устройства. Это помогает избавиться от необходимости использовать реальное оборудование или его аппаратные симуляторы.

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) используются как базовые элементы систем управления. Они оснащены множеством входов и выходов для подключения устройств объекта и различных датчиков. Управляющий алгоритм осуществляет контроль устройств объекта управления на основе входных данных, показаний датчиков и команд оператора.

При подготовке специалистов для программирования ПЛК или тестирования программ для них ранее могли быть использованы специализированные программные пакеты и среды разработки для языков стандарта IEC 61131-3, например CODESYS или National Instruments LabVIEW, но, в связи с развитием облачных технологий и введённых региональных ограничений, данный метод постепенно теряет свою актуальность.

Цель данной работы – разработка технологии виртуализации ПЛК для целей процесс-ориентированного языка роST [1].

Был проведён анализ предметной области, особенностей работы ПЛК, разработан список требований к технологии виртуализации: автоматический режим управления на основе алгоритма и ручной режим для имитации автоматизированного рабо-

чего места оператора и его действий, виртуальный ПЛК должен обрабатывать программу циклически по схеме «считывание сигналов датчиков и ввода оператора» – «обработка» – «формирование и выдача на их основе выходных сигналов для виртуального объекта управления», должна быть сохранена семантика языка роST, в том числе при работе с временными интервалами: задержками, паузами, тайм-аутами; логическим параллелизмом, должна быть предоставлена отладочная информация о состоянии процессов, значения счетчиков времени и значения переменных. На основе этих требований выработана гипотеза реализации.

Для достижения цели было решено разработать транслятор программы с процесс-ориентированного языка роST в программу на интерпретируемом языке, в данном случае Python, с использованием семантического дерева языка роST, и разработать симулятор ПЛК, исполняющий полученную программу, с соблюдением особенностей ПЛК, часть из которых уже соблюдена в семантике языка роST. Отдельное внимание при реализации следует уделить логическому параллелизму, для чего необходимы средства многопоточного программирования, чтобы избежать комбинаторного перебора состояний слабосвязанных или несвязанных частей объекта управления. Кроме того, отдельные процессы должны отвечать за получение данных с датчиков и от оператора, чтобы управляющие процессы не вставали на паузу, например, во время работы с временными интервалами.

В дальнейшем планируется реализация в соответствии с выработанными требованиями, тестирование и имплементация в состав облачного программного комплекса с веб-интерфейсом оператора.

Литература

1. Zyubin V.E., Rozov A.S., Anureev I.S., Garanina N.O., Vyatkin V. роST: A Process-Oriented Extension of the IEC 61131-3 Structured Text Language // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 35238–35250. – DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3157601.

Д.С. Иванишкин

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

АНАЛИЗ СПЕЦИФИКАЦИЙ ПРОЦЕСС-ОРИЕНТИРОВАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Сложность задач для современных систем автоматизированного управления планомерно возрастает, что обусловлено необходимостью отвечать на новые вызовы в промышленности и производстве. Чем более сложные задачи предстоит решать, тем более жесткие требования по простоте технического обслуживания и минимизации массогабаритных характеристик предъявляют потребители к системам промышленной автоматизации, которые также должны демонстрировать высокую надежность и отказоустойчивость.

Описанным потребностям отвечает распределенная реализация системы управления: управление на отдельно взятом контуре осуществляет выделенный контроллер, в рамках системы контроллеры взаимодействуют друг с другом сообщениями по определенному протоколу. Декомпозиция системы позволяет снизить требования к используемому аппаратному обеспечению, размещать контроллеры в непосредственной близости от датчиков и управляющих устройств. Абстракция протокола взаимодействия снижает связность компонентов системы друг от друга и позволяет при необходимости независимо заменять реализацию компонентов системы.

Решаемые в автоматизации задачи отличаются необходимостью взаимодействовать с окружающей средой и реагировать на параллельные потоки событий, происходящих независимо друг от друга. Специфика управляющего программного обеспечения определила особые подходы [1], применяемые при реали-

зации управляющего ПО. В настоящее время они подвергаются модернизации: реализующий процесс-ориентированную парадигму [2] язык роST [3] нацелен на решение проблем, которые устаревшие технологии не могут преодолеть.

Снижение сложности аппаратной реализации и требований к ней усложняет программную реализацию. Эффективность взаимодействия контроллеров в распределенной системе и интенсивность обмена сообщениями зависит от спецификации алгоритма управления. Распределение процессов из спецификации алгоритма на разные микроконтроллерные узлы может потребовать не только обмена управляющими сигналами, но и интенсивного обмена данными, а также синхронизации, в случае если спецификация алгоритма была реализована без учета топологии микроконтроллеров.

Для снижения стоимости разработки спецификации алгоритма управления целесообразно предусмотреть в инструментах разработки механизм анализа спецификации алгоритма и автоматического проектирования топологии распределенной системы.

Предложен механизм построения модели распределенной системы на основе синтаксического дерева (AST) спецификации алгоритма на языке роST. Обработка AST позволяет выявить критичные для аппаратной реализации особенности процессов в спецификации процесс-ориентированного алгоритма – связи процессов с входными сигналами, зависимости по управлению между процессами.

Последующий анализ построенной модели позволит определить ограничения на топологию контроллеров для выполнения имеющейся спецификации и возможные варианты конфигурации.

Анализируя связку «модель–топология», можно выявить разделы спецификации, требующие переработки для возможности построения более эффективной распределенной системы с меньшей интенсивностью взаимодействия или исключаящей необходимость синхронизации.

В дальнейшем модель может быть полезна при разработке инструмента автоматизированного проектирования топологии распределенной системы.

Литература

1. IEC 61131-3 Programmable controllers. Part 3: Programming languages // International Electrotechnic Commission. – 2013.
2. *Zyubin V.E.* Hyper-automaton: a Model of Control Algorithms // 2007 Siberian Conference on Control and Communications, Tomsk, Russia. – 2007. – P. 51–57. – DOI: 10.1109/SIBCON.2007.371297.
3. *Bashev V., Anureev I., Zyubin V.* The Post Language: Process-Oriented Extension for IEC 61131-3 Structured Text // 2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russia. – 2020. – P. 994–999. – DOI: 10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208049.

А.В. Козлова

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

РАЗРАБОТКА ТРАНСЛЯТОРА EDTL-ТРЕБОВАНИЙ В СЕМАНТИКУ LTL ДЛЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ СПЕЦИФИКАЦИИ СОБЫТИЙНО-ТЕМПОРАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ

В настоящее время существует большое количество решений, которые направлены на улучшение качества программного обеспечения, в основе которых лежат формальные методы. В промышленном программировании трудно обойтись без использования формальных методов, поскольку здесь крайне важны безопасность, надежность и поддерживаемость программного продукта. Между заказчиками – инженерами-технологами и исполнителями – разработчиками программного обеспечения часто возникают недопонимания. Во многих случаях ошибки, такие как неполнота и неоднозначность требований к ПО, возникают на этапе формулировки требований технического задания. Цена этих ошибок может быть крайне высока и, в худшем случае, угрожать здоровью людей.

Для решения данной проблемы сотрудниками лаборатории киберфизических систем Института Автоматики и Электростроения был предложен метод формулировки требований на основе событийно-темпоральной логики EDTL [1]. EDTL нотация представляет собой шестикомпонентный шаблон, состоящий из атрибутов, которые задают для требования триггер, инвариант, события реакции, отмены и окончания, а также допустимую задержку реакции. Для удобства работы с EDTL-требованиями возникает необходимость в разработке web IDE.

Web IDE позволяет существенно снижать накладные расходы на сопровождение продукта. У web IDE меньше требований

к производительности клиента, пользователю необходимо подключаться к приложению через веб-браузер с активным сетевым подключением. Для реализации web IDE были выдвинуты требования: (1) интеграция языка EDTL в веб-приложение, (2) возможность интеграции модулей расширения EDTL, (3) синтаксический анализ, (4) семантический анализ, (5) подсветка синтаксиса, (6) автодополнение кода, (7) поддержка исполнения кода и генерации выходных артефактов, (8) функциональные возможности приложения должны быть доступны пользователю только через веб-браузер с активным сетевым подключением, (9) независимость веб-браузера от веб-приложения, (10) временное хранение результатов работы пользователя и восстановление состояния после перезагрузки web страницы.

Web IDE имеет клиент-серверную архитектуру. На сервере располагается базовая функциональность IDE, то есть парсер EDTL-требований в абстрактное синтаксическое дерево (AST), модуль семантического анализа построенного AST. Базовую функциональность IDE можно дополнять новыми модулями, такими как модуль определения формальной семантики EDTL-требований в виде формул линейной темпоральной логики LTL [2] и веб-редактор для работы с представлением EDTL-требований на контролируемом естественном языке.

Текущая реализация представляет собой десктопную версию интегрированной среды разработки (IDE) для языка EDTL [3]. Приложение включает в себя парсер EDTL-требований в абстрактное синтаксическое дерево и модуль семантического анализа построенного дерева (валидатор). Парсер EDTL-требований предназначен для использования в модулях расширения web IDE. Модуль валидатора выявляет однородность использования стилей операторов, неиспользованные переменные, конфликты имен, корректность присвоения для переменных, корректность использования макросов и однородность стилей операторов.

Очередной этап разработки web IDE включает реализацию модуля трансляции из EDTL нотации в формальную нотацию LTL. Этот модуль необходим для использования EDTL-требований в формальной верификации систем, к которым они предъявляются, для выявления семантических ошибок в формулировке

требований, а также для построения семантической классификации требований, которая используется, в частности, для построения контролируемого естественного языка записи EDTL-требований.

Ранее был предложен перевод EDTL-требований в LTL-семантику [4], однако он не использовал в своей основе существующий парсер EDTL в AST, что делало затруднительным подключение модуля трансляции EDTL-LTL. Кроме того, было обнаружено несколько ошибок трансляции. Данная работа устраняет эти недостатки следующим образом. Новый алгоритм трансляции использует AST дерево в качестве входа транслятора, все сущности EDTL представляют собой классы java в отличие от предыдущего алгоритма, где на вход принимались EDTL-атрибуты в табличном виде. Новый транслятор был написан на языке Xtend, предоставляющий функционал для работы с AST. Функции были переписаны для работы с AST. Работа алгоритма была протестирована с помощью фреймворка JUNIT 5.

В дальнейшем планируется реализовать web IDE, интегрируя текущую десктопную реализацию IDE в облачную платформу, основанную на использовании технологии Language Server Protocol.

Литература

1. *Zyubin V., Anureev I., Garanina N. et al.* Event-Driven Temporal Logic Pattern for Control Software Requirements Specification // LNCS. – 2021. – Vol. 12818. – DOI: 10.1007/978-3-030-89247-0_7.
2. *Clarke E. M., Henzinger T. A., Veith H., Bloem R. et al.* Handbook of model checking. – Springer, 2018.
3. *Козлова А.В.* Интегрированная среда разработки для EDTL-требований // Международная научная студенческая конференция. – 2022.
4. *Getmanova A.N., Garanina N.O., Staroletov S.M., Zyubin V.E., Anureev I.S.* Semantic Classification of Event Driven Temporal Logic Requirements // 2022 IEEE 23rd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), Altai, Russian Federation. – 2022. – P. 663–668. – DOI: 10.1109/EDM55285.2022.9855053.

А.В. Гнездилова

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

К РАЗРАБОТКЕ КОНТРОЛИРУЕМОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА ДЛЯ СОБЫТИЙНО-ТЕМПОРАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ

Множество ошибок в проектах разработки программных систем возникает на этапе формулировки требований, однако замечают это только на более поздних этапах проекта или после развертывания системы, так как неправильные или неполные требования могут быть субъективно интерпретированы разработчиками.

Часто требования на естественном языке выражены расплывчато, двусмысленно и неполно. Решением этой проблемы являются контролируемые естественные языки (CNL), цель их создания – предотвратить проблемы с качеством в документах требований, сохраняя при этом гибкость для написания и передачи требований интуитивным и универсально понятным способом.

С другой стороны, для решения проблем, связанных с этапом формулировки требований, сотрудниками лаборатории киберфизических систем ИАиЭ СО РАН был предложен шаблон на основе EDTL (Event-Driven Temporal Logic). EDTL требование – это комбинация событий системы, таких как триггер, инвариант и т. п., ограниченных заданными временными взаимосвязями. Эти события являются атрибутами требования EDTL. В отличие от существующих формальных методов EDTL более понятен и интуитивен как для инженеров, которые думают в терминах событий, так и для программистов, которым не нужно будет углубляться в детали киберфизической системы. Исходя из этого, представляет интерес разработка контролируемого естественного языка на основе EDTL-специфики, а также веб-редактора для работы с ним.

Таким образом, долгосрочной целью работы является создание контролируемого естественного языка для спецификации событийно-темпоральных требований. В результате анализа особенностей спецификации свойств систем управления на языке EDTL и существующих подходов к созданию CNL, в данной работе представлен начальный вариант шаблонов требований для контролируемого естественного языка. Данный вариант построен на семантической LTL-классификации, которая, в свою очередь, создана на основе LTL (Linear Temporal Logic), – модальной темпоральной логики, которая позволяет формулировать свойства исполнимых вычислительных последовательностей системы. LTL состоит из обычной пропозициональной логики, с добавлением темпоральных операторов: унарный оператор next и бинарный Until [2]. Разработанные шаблоны будут служить основой грамматики контролируемого естественного языка для спецификации EDTL-требований.

Рассмотрим пример построения шаблона на контролируемом естественном языке, учитывающего LTL-семантику. Требование предъявляется к системе автоматического управления суходоходным шлюзом.

– **Требование на естественном языке:** Верхние ворота должны быть закрыты, если уровни камеры и верхнего бьефа не выровнены.

– **EDTL-шаблон для требования:** (trigger: NOT atHigh, release: FALSE, final: TRUE, delay: TRUE, invariant: HighGate-Closed, reaction: TRUE).

– LTL-семантика: $G(\text{trig} \rightarrow \text{inv})$.

– **CNL-шаблон для семантики:** Если $\langle \text{trigger} \rangle$, то $\langle \text{invariant} \rangle$.

– **CNL-требование:** Если $\langle \text{уровни камеры и верхнего бьефа не выровнены} \rangle$, то $\langle \text{верхние ворота закрыты} \rangle$.

На данном этапе ведется разработка контролируемого естественного языка на основе русского, в дальнейшем планируется создать CNL на базе английского языка. Также разрабатывается архитектура веб-редактора для спецификации требований на CNL.

Инженеры по требованиям смогут использовать CNL для выявления ошибок системы на ранних этапах разработки, стре-

мась к полной безопасности разрабатываемой системы управления и её эффективности.

Литература

1. *Zyubin V. et al.* Event-Driven Temporal Logic Pattern for Control Software Requirements Specification // International Conference on Fundamentals of Software Engineering. – Springer, Cham, 2021. – P. 92–107.
2. *Clarke E.M., Henzinger T.A., Veith H.* Introduction to model checking // Handbook of Model Checking. – Springer, Cham, 2018. – P. 1–26.
3. *Veizaga A. et al.* On systematically building a controlled natural language for functional requirements // Empirical Software Engineering. – 2021. – Vol. 26, no. 4. – P. 1–53.
4. *Stachtiari E. et al.* Early validation of system requirements and design through correctness-by-construction // Journal of Systems and Software. – 2018. – Vol. 145. – P. 52–78.

В.А. Федорук

*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет,
г. Омск, Россия*

ПРОГРАММА-ОБОЛОЧКА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕСТОВ

В настоящее время тестирование используется в учебном процессе как один из распространённых инструментов проверки остаточных знаний студентов.

В среде разработки и программирования Borland Delphi 7 [1; 2] для создания гибкой системы тестирования в виде «exe» файлов разработана программа-оболочка «TestingShell-v1.0» [3], которая может быть использована в образовательной деятельности для тестирования школьников и студентов, работников умственного труда и других профессий.

После запуска программы, например, файла test.exe, необходимо ввести пароль, количество вопросов (заданий), а также время, отведённое на выполнение теста и нажать кнопку «ОК» (рис. 1).

Введите пароль:

Вопросы

С ПО

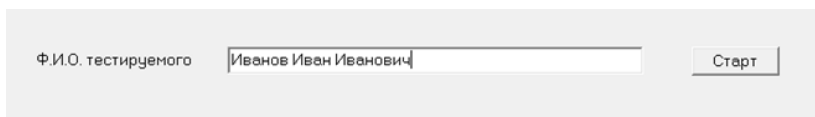
Таймер

Использовать

Минут

Рис. 1. Ввод пароля и других настроек программы после её запуска

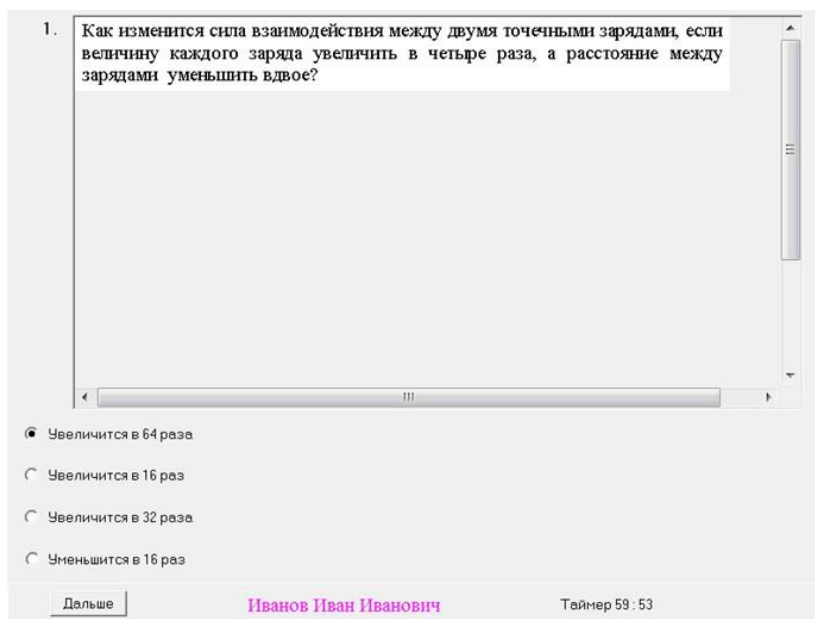
На следующем шаге работы программы необходимо указать Ф.И.О. тестируемого и нажать на кнопку «Старт» (рис. 2).



The screenshot shows a light gray rectangular window. On the left, the text "Ф.И.О. тестируемого" is displayed. To its right is a text input field containing the name "Иванов Иван Иванович". Further to the right is a button labeled "Старт".

Рис. 2. Ввод в соответствующее поле Ф.И.О. тестируемого

Далее переходим к выполнению самого теста (рис. 3).



The screenshot displays a test question interface. At the top, a question number "1." is followed by the text: "Как изменится сила взаимодействия между двумя точечными зарядами, если величину каждого заряда увеличить в четыре раза, а расстояние между зарядами уменьшить вдвое?". Below the question is a large empty rectangular area for the answer. Underneath this area are four radio button options: "Увеличится в 64 раза" (selected), "Увеличится в 16 раз", "Увеличится в 32 раза", and "Уменьшится в 16 раз". At the bottom of the interface, there is a "Дальше" button, the name "Иванов Иван Иванович" in pink, and a timer showing "Таймер 59 : 53".

Рис. 3. Пример тестового задания с выбором одного правильного ответа

Для перехода от одного задания к другому и обратно предназначены кнопки «Дальше» и «Назад» (появляется при переходе к следующим вопросам).

В заданиях возможен выбор как одного правильного ответа (рис. 3), так и нескольких (от двух до трёх). Для завершения теста необходимо нажать на кнопку «Завершить тест», которая появляется при достижении последнего вопроса (№ 20, рис. 1).

После срабатывания кнопки «Завершить тест» или таймера, на экран выводятся результаты тестирования.

Таким образом, данная программа-оболочка позволяет создавать тесты любой тематики и настраивать их под себя в каждом отдельном случае.

Литература

1. *Культин Н.Б.* Основы программирования в Delphi 7. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003.
2. *Культин Н.Б.* Delphi в задачах и примерах. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018613107 РФ. Программа-оболочка «TestingShell-v1.0» для создания гибкой системы тестирования в виде «exe» файлов / В.А. Федорук; правообладатель СибАДИ. – №2018610239; заявл. 10.01.2018; опубл. 02.03.2018.

Н.А. Моисеева¹, Т.А. Полякова²

¹ Омский государственный технический университет,
г. Омск, Россия,

² Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет,
г. Омск, Россия

ЦИФРОВЫЕ СЕРВИСЫ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Деятельность инженера, связанная с построением и исследованием технических объектов, осуществлением расчётов технических устройств, а также направленная на разработку и внедрение новых наукоемких технологий производства, требует от них умений работы с соответствующими цифровыми сервисами. Актуальность настоящего исследования обоснована возросшим требованиям к уровню подготовки специалистов инженерной отрасли, в частности речь идет об их математическом образовании и подготовки в области применения средств современных информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в условиях цифровой экономики [1].

Значительная часть инженерных расчётов в различных отраслях деятельности (в строительстве, автотранспорте, проектировании технических объектов и систем и др.) связана с обработкой огромных массивов данных, их анализом, установлением законов распределения случайных величин, построением разного рода эмпирических зависимостей между изучаемыми параметрами, с математическим прогнозированием и оценкой надежности технических механизмов и систем и т. д. Применение возможностей цифровых сервисов, удобных в использовании и не требующих привязки к имеющимся в вузе лицензированным программным средствам, позволяет значительно облегчить и оптимизировать процесс решения подобных задач [2].

Аналитический обзор цифровых онлайн-сервисов для проведения статистических расчетов позволил разбить существующее множество таких сервисов на две группы:

1 группа: цифровые интерактивные онлайн-сервисы содержат некоторый набор моделей, которые позволяют вычислять статистические показатели. Как правило, такие сервисы часто называются *онлайн-калькуляторы*.

Например,

- онлайн-калькулятор «Статистика онлайн» – позволят рассчитать моду и медиану, произвести двухфакторный дисперсионный анализ и др.

(https://math.semestr.ru/group/group_manual.php)

- группа онлайн-калькуляторов для расчета статистических критериев

(<https://medstatistic.ru/calculators.html>);

- оценка значимости различий средних величин по t-критерию Стьюдента

(<https://medstatistic.ru/calculators/averagestudent.html>);

- Расчет показателей динамического ряда

(<https://medstatistic.ru/calculators/calcdynamic.html>).

Встроенная математическая статистика онлайн-сервиса WolframAlpha (<https://www.wolframalpha.com/>) позволяет осуществлять автоматическую оценку параметров и проверку статистических гипотез, анализ и построение статистических моделей с возможностью экспорта и импорта данных, проводить корреляционный и регрессионный анализ [3].

2 группа: цифровые интерактивные онлайн-сервисы, функциональные возможности которых позволяют пользователю применять соответствующие языки программирования для проведения статистических расчетов.

На сегодняшний день наиболее востребованными являются следующие языки программирования [4]:

1. Язык программирования R был специально разработан для статистической обработки и анализа данных с целью проведения статистических исследований, построения аналитических моделей.

2. Язык программирования Python широко применяется для статистических расчетов, благодаря наличию таких специализированных пакетов как Pandas, SciPy и Statistics.

Перечисленные выше языки программирования могут успешно использоваться в среде *интерактивных онлайн-компи-*

ляторов, например, JDoodle (<https://www.jdoodle.com/>), OnlineGDB (<https://www.onlinegdb.com/>), Rdr.io (<https://rdr.io/snippets/>).

Также для работы с языками программирования R и Python можно использовать *интерактивную цифровую платформу* GoogleColaboratory (<https://colab.research.google.com/>), которая применяет формат блокнотов Jupiter (программа-блокнот для записи, передачи и запуска программного кода, которая реализована в среде интерактивной цифровой платформы и доступна в глобальной сети Internet) реализации статистических вычислений и анализа данных с помощью функционала языков R и Python.

Рассмотрим пример, в котором продемонстрировано использование наиболее популярных статистических функций из модуля статистики Python – Statistics в Google Colaboratory, который содержит функции математической статистики числовых данных (обработка списка чисел) (рис.).

```
import statistics
# список положительных целых чисел
datasets = [5, 2, 7, 4, 2, 6, 8]
# Функция mean() - используется для вычисления среднего арифметического чисел в списке
x = statistics.mean(datasets)
# Printing the mean
print("Mean is :", x)

Mean is : 4.857142857142857

# Функция median() - используется для возврата среднего значения числовых данных в списке
print("Median of data-set is : % s " %(statistics.median(datasets)))

Median of data-set is : 5

# Функция mode() - возвращает наиболее распространенные данные, встречающиеся в списке.
print("Calculated Mode % s" %(statistics.mode(datasets)))

Calculated Mode 2

print("Standard Deviation of sample is % s " %(statistics.stdev(datasets)))

Standard Deviation of sample is 2.340126166724879
```

Модуль статистики Python – Statistics

Литература

1. *Моисеева Н.А., Полякова Т.А., Ширшова Т.А.* Цифровые сервисы в решении задач информационно-математического моделирования // Методика преподавания математических и естественно-научных дисциплин: современные проблемы и тенденции развития: материалы IX Всерос. науч.-практ. конф., Омск, 29 июня 2022 года / отв. ред. канд. физ.-мат. наук Ю.В. Захарова. – Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2022. – С. 123–128.
2. *Моисеева Н.А., Полякова Т.А.* Возможности цифровых сервисов в решении прикладных задач технического содержания // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: сборник материалов VII Междунар. науч.-практ. конф., приуроченной к проведению в Российской Федерации Десятилетия науки и технологий, Омск, 24–25 ноября 2022 года. – Омск: СибАДИ, 2022. – С. 668–672.
3. *Муханов С.А., Муханова А.А.* Использование сервиса Wolfram|Alpha при моделировании вероятностных экспериментов // Современное педагогическое образование. – 2019. – № 2. – С. 67–69.
4. *Брюс П., Брюс Э., Гедек П.* Практическая статистика для специалистов DataScience. 50 важнейших понятий с использованием R и Python. – 2-е изд. пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2021. – 352 с.

О.А. Терентьева

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ С УЧЕТОМ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

В работе [1] рассмотрена формула степени готовности леса к риску пожара, которая имеет вид

$$\Gamma(t) = 1 - \left[\sum_{i=0}^{n-1} p_i(t) - \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=1}^n p_{ij}(t) \right],$$

при начальных условиях $p_0(0) = 1; p_k(0) = 0; p_{ij}(0) = 0$ ($k = 1, \dots, n, i = 0, 1, \dots, n-1; j = 1, 2, \dots, n$), где $p_i(t)$ – вероятность нахождения лесной системы в состоянии $E_i (i = 0, 1, \dots, n)$; $p_{ij}(t)$ – вероятность нахождения системы в состоянии $E_{ij} (i = 0, 1, \dots, n-1; j = 1, 2, \dots, n)$.

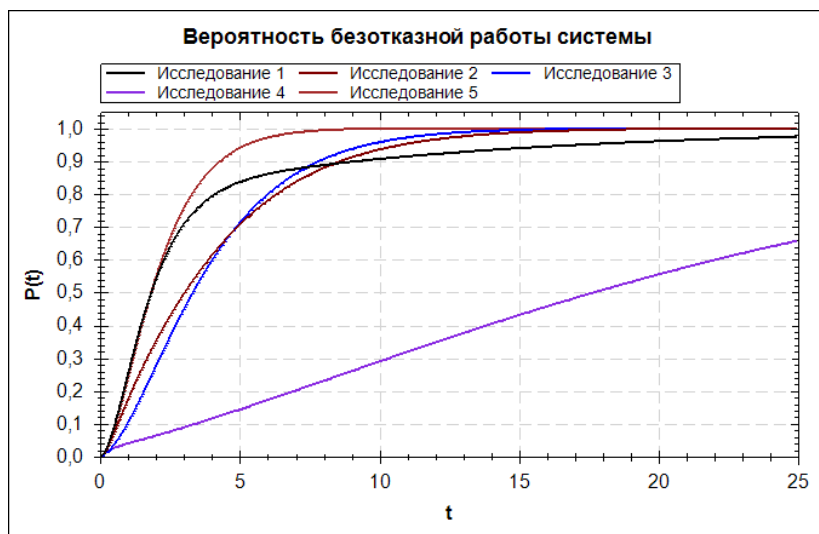
Значимым результатом работы является математическая модель, при помощи которой можно исследовать вероятность нахождения лесной системы в состоянии подготовки к противостоянию пожарам [2]. Полученные вычисления могут лечь в основу перечня правил по профилактике лесных пожаров.

Исходные данные исследования и среднее время восстановления лесной системы приведены в таблице, а графики изменения вероятностей нахождения лесной системы в состоянии подготовки к противостоянию пожарам представлены на рисунке.

Интенсивность отказов подразделений системы подготовки к работе и возобновления мероприятия после отказа оказывает значительное влияние на среднее время восстановления и вероятность ее нахождения в подготовительном состоянии. Одновременное увеличение интенсивностей отказов и возобновления мероприятия после отказа замедляет среднее время восстановле-

ния лесной системы на начальном этапе. При высокой интенсивности отказов подразделений системы подготовки к работе и при низкой интенсивности возобновления мероприятия после отказа, время восстановления резко увеличивается, а вероятность безотказной работы изменяется практически линейно.

№	Интенсивность возобновления мероприятия после отказа (μ)	Интенсивность отказов подразделений системы подготовки к работе (λ)	Интенсивность выполнения i -й операции (μ_i)	Кол-во шагов в подготовке леса к противостоянию пожару	Среднее время восстановления лесной системы
1	0,1	0,1	1	2	3,054
2	1	1	1	2	3,992
3	10	10	1	2	4,000
4	0,5	5	1	2	7,681
5	5	0,5	1	2	2,205



Графики изменения вероятностей безотказной работы лесной системы

Разработанное автором программное обеспечение, реализующее работу математической модели, зарегистрировано в фонде электронных ресурсов и получено свидетельство о государственной регистрации с присвоенным номером 21209 [3].

Литература

1. *Горн О.А., Гуц А.К.* Моделирование готовности лесного фитоценоза к риску возгорания посредством марковских процессов // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов VIII Международной научной конференции, посвященной памяти А.Л. Йозефера (Омск, 20.11.2020 г.). – Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2020. – С. 161–163.
2. *Терентьева О.А.* Программные продукты для решения задач моделирования (оптимального управления) противоборствующих объектов, участвующих в конфликтной ситуации // Математические структуры и моделирование. – 2022. – № 3 (63). – С. 79–86.
3. *Горн О.А., Потапов В.И.* Вычисление функциональной готовности технической системы при подготовке ее к противоборству в конфликтной ситуации и продолжению противоборства после отказов компонентов системы с учетом надёжности человека-оператора // Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 21209 от 06.10.2015 г. – М.: ФИПС, 2015.

Т.А. Дейнеко^{1,2}

¹ Омский государственный технический университет,
г. Омск, Россия

² Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
г. Омск, Россия

ПЕРЕХОД В ОМГТУ С «ГАЛАКТИКИ» НА 1С В ЧАСТИ ВЕДЕНИЯ КОНТИНГЕНТА АСПИРАНТУРЫ

С 2021 года для приема абитуриентов в Омский государственный технический университет используется программный продукт «1С:Университет ПРОФ» [1; 2]. Прием осуществляется в полном объеме на все уровни образования, в том числе в аспирантуру [3].

В 2022 году все зачисленные абитуриенты продолжили обрабатываться в этом же продукте в части ведения контингента обучающихся в аспирантуре, издания приказов по ним и ведения учебного процесса (работа с планами, ведомостями, выпуском и т.п.). Контингент старших курсов постепенно переносится из КИС «Галактика» в 1С, тем самым обеспечивая в скором будущем работу в новой системе (обращения к «Галактике» останутся в части архивных записей об обучении аспирантов прошлых лет), а уже к началу следующего учебного года планируется ведение всего контингента аспирантов в новой системе «1С:Университет ПРОФ».

В 2022 году вступили в действие глобальные изменения законодательства в области подготовки кадров высшей квалификации. Согласно приказу № 951 от 20 октября 2021 года программы аспирантуры разрабатываются по научным специальностям, предусмотренным номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени [4]. Программный продукт оказался готов к таким изменениям, и переход на новую номенклатуру не вызвал затруднений.

Неотъемлемой частью «1С:Университет ПРОФ» является портал, который позволил не только реализовать подачу заявле-

ний в вуз в электронной форме, но и настроить работу личных кабинетов студентов и преподавателей.

«1С: Университет ПРОФ» достаточно гибко настраивается с помощью широкого набора справочников и множества опциональных возможностей, что позволяет учитывать различные нюансы организации работы конкретного вуза.

Специалистами управления информатизации ОмГТУ самостоятельно были сделаны изменения типовых экранных и печатных форм (личные карточки, заявления абитуриентов, приказы и т.п.) для удобства работы сотрудников аспирантуры. Однако практически весь основной функционал остался типовым, что вполне устраивает пользователей программного продукта.

«1С: Университет ПРОФ» обеспечивает выполнение этапов работ с контингентом аспирантуры от приема до выпуска. В ближайшее время планируется настроить расписание в системе и интегрировать его с личными кабинетами на портале.

Литература

1. 1С: Университет. ПРОФ. // Solutions.1c.ru. – URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/university-prof> (дата обращения: 17.12.2023).
2. 1С: Предприятие 8. Конфигурация «Университет ПРОФ». Ред.2.2. Версия 2.2.1.8. Том 1 – Издание официальное. – М.: Фирма «1С», 2020. – 857 с.
3. *Дейнеко Т.А.* Опыт автоматизации приемной кампании в Омском государственном техническом университете с помощью 1С // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов IX Международной научной конференции, посвященной 85-летию профессора В.И. Потапова. – Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2021. – С. 312–314.
4. Приказ Минобрнауки России от 20 октября 2021 г. № 951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)». Зарегистр. в Минюсте России 23.11.2021 №65943.

Т.В. Костеннов

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

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ ГИДРОПОННОГО РАСТВОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА ПЕЛЬТЬЕ

Частой проблемой при использовании малообъёмных гидропонных систем выращивания растений становится температура раствора. Как повышение, так и понижение температуры раствора напрямую влияет на выращиваемое растение через корневую систему, возникает дефицит питания, нарушается механизм трансфера полезных веществ. В промышленности для борьбы с повышенной температурой гидропонного раствора используют охладительные установки компрессорного типа, обладающие высокой эффективностью. Использование таких установок оправдано в промышленном выращивании, при использовании гидропонных систем большого объёма или множества малообъёмных систем. Однако для единичной малообъёмной лабораторной камеры использование компрессорных охладителей может оказаться неподходящим или избыточным. Компрессорные установки издадут шум за счёт своего принципа работы, содержат различные химические соединения – хладагенты, а также имеют подвижные части. Неоспоримым плюсом компрессорных установок являются их малое потребление энергии и высокий КПД охлаждения.

Было предположено, что для контроля температуры гидропонного раствора можно использовать систему, построенную на термоэлектрических преобразователях, действующих по принципу эффекта Пельтье. Такие преобразователи, являющиеся набором полупроводниковых пар, при подаче питания могут выступать в роли тепловых насосов, охлаждая одну свою сторону и нагревая другую. Если дополнительно охлаждать нагревающую-

юся сторону преобразователя при помощи радиатора, то эффективность насоса повышается – температура холодной стороны становится ещё ниже. Сборку из нескольких преобразователей принято называть элементом Пельтье [1]. Компьютерное моделирование показало достаточную для поставленных задач эффективность.

Для построения системы температурного контроля на базе элементов Пельтье необходимо устройство, позволяющее:

- 1) получать информацию о температуре регулируемой среды;
- 2) управлять коммутацией питания на элементы Пельтье;
- 3) производить настройку температурного интервала;
- 4) автоматизировать управление подачей;
- 5) переносить энергию из управляемой среды.

Сборка прототипа была произведена из следующих компонентов:

- 1) элементы Пельтье с маркировкой TEC1-12715;
- 2) цифровой датчик температуры DS18B20;
- 3) электромеханические релейные переключатели;
- 4) микроконтроллер ATmega328;
- 5) соединенные металлические радиаторы (для создания закрытого контура).

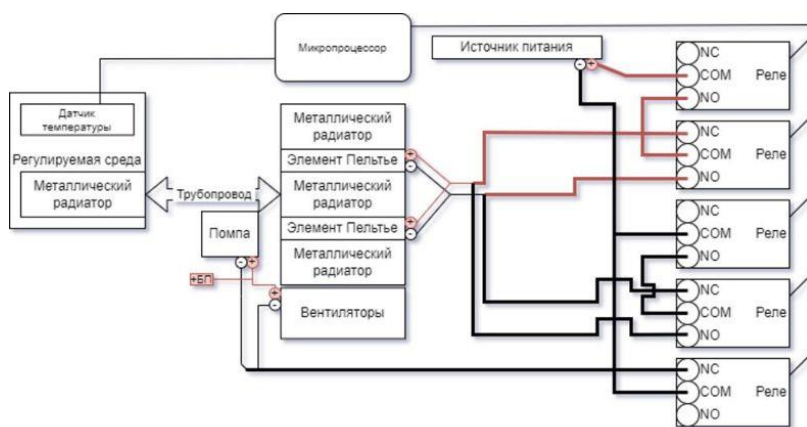


Схема коммутации компонентов устройства

Устройство, собранное по схеме, приведённой на рисунке, показало невысокую, но достаточную для малообъёмной гидропоники эффективность. Основным ограничением для устройства является низкий КПД элементов Пельтье, заявленный на уровне 5–25 % [2]. Экспериментальным путём вычислен КПД прототипа: в режиме охлаждения 11 %, в режиме нагрева 15 %.

Литература

1. Jäckle J. Über die Ursache der Thermospannung // Fakultät für Physik Universität Konstanz. – 1998.
2. Бышов Д.Н., Каширин Д.Е., Гобелев С.Н., Бочков П.Э., Павлов В.В. К вопросу исследования КПД элементов Пельтье // Вестник РГАТУ. – 2020. – № 1 (45). – С. 76–80.

Е.А. Костюшина

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

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ОмГУ

Целью развития информационных систем университета является создание единой цифровой платформы управления всеми направлениями деятельности университета.

Анализ текущей ситуации показывает, что быстрый переход к масштабируемой архитектуре информационной системы управления вузом невозможен. В текущих ИС, начиная с 2005 года, накоплены огромные массивы данных, и быстрый перенос их в новые системы требует значительных затрат как временных, так и человеческих ресурсов. Принято решение переход к масштабируемой отказоустойчивой архитектуре осуществлять поэтапно, что должно быть отражено в дорожной карте трансформации информационных систем.

К 2024 году планируется подготовить архитектуру ИС на основе разработанной подсистемы Бэк-офис (см. рис. 1), которая будет являться шиной обмена данными между информационными системами ООВО. Объектами данного приложения являются документы и реквизиты документов.

Целевая архитектура информационных систем, к которой планируется прийти к 2030, представлена на рис. 2. Главная цель перехода к новой архитектуре – уменьшение связности (что упрощает организацию обмена данными, проведение аудита и мониторинга функционирования ИС, упрощает проведение тестирования ИС) и увеличение сфокусированности информационных систем вуза на своих задачах (что минимизирует потоки данных между ИС).

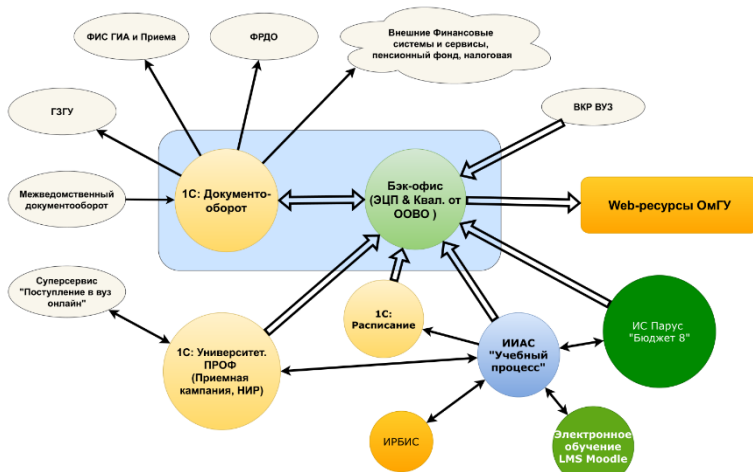


Рис. 1. Информационные системы ОмГУ и потоки обмена данными между ними и с внешними информационными системами и сервисами к 2024 году

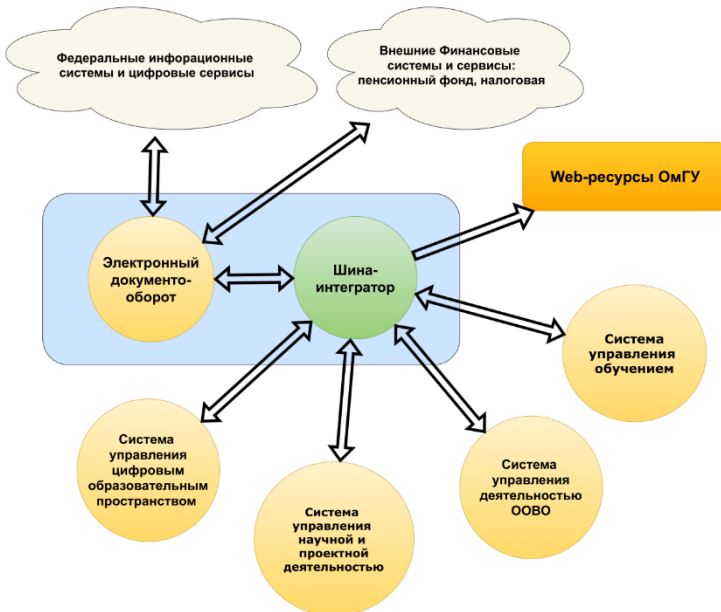


Рис. 2. Информационные системы ОмГУ и потоки обмена данными между ними и с внешними информационными системами и сервисами к 2030 году

Целевая архитектура масштабируема. В её основе лежит подсистема шина-интегратор, которая совместно с электронным документооборотом позволяет:

- осуществить подключение к приложениям посредством адаптеров, как готовых, так и разработанных самостоятельно;
- маршрутизировать потоки данных между подсистемами;
- обеспечивать шлюз взаимодействия с внешними финансовыми, фискальными и федеральными системами.

Литература

1. А.с. 2011612300 РФ, Роспатент. Интегрированная Информационно-аналитическая система «Учебный процесс» (ИИАС «Учебный процесс») / Епанчинцева О.Л., Ворошилов В.В., Костюшина Е.А., Погромская Т.А. (RU). № 2010617657; заявл. 06.10.2010; опубл. 18.03.2011. Бюл. № 2(75). С 329.
2. *Костюшина Е.А., Илюшечкин Е.А., Ворошилов В.В., Городецкий А.Д.* Многокомпонентное веб-приложение «Электронные сервисы вуза». Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 017612596, 01.03.17.

Т.М. Опарина, С.Д. Платновский

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

ВЫБОР НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ БУКВ РУССКОГО АЛФАВИТА

Для задачи распознавания изображений используют сверточные нейронные сети, основная идея которых состоит в том, чтобы переиспользовать одни и те же части нейронной сети для работы с разными маленькими локальными участками входов.

Для обучения нейронной сети при распознавании букв русского алфавита использовался датасет, содержащий 15231 изображение рукописных вариаций всех русских букв [1]. Для обучения использовалось 13249 изображений, для тестирования – 1982. Построение нейронной сети основывается на следующих слоях:

1. Dense – полносвязной слой;
2. Conv2D – сверточный слой;
3. MaxPooling2D, Dropout – вспомогательные слои.

Рассмотрим работу нескольких моделей нейронной сети для распознавания рукописных букв русского алфавита. Первая модель будет состоять из одного слоя свертки, и одного полносвязного слоя (далее модель 1).

Наилучший результат обучения 59 %. Среднее время обучения составило 8 мин. 3 сек., время работы на тестовой выборке – 1,3 сек.

Таблица 1

Результаты работы модели 1

Кол-во ядер	Кол-во нейронов в полносвязном слое			
	250	300	200	180
32	57 %	56 %	59 %	22 %
40	34 %	44 %	56 %	41 %
28	59 %	55 %	54 %	53 %

Рассмотрим вторую модель, имеющую два слоя свертки и один полносвязный слой (далее модель 2.а). Получаем следующие результаты обучения при различных параметрах.

Таблица 2

Результаты работы модели 2.а

Кол-во ядер в слоях		Кол-во нейронов в полносвязном слое			
		256	200	190	128
32	32	64 %	66 %	64 %	32 %
64	64	58 %	61 %	65 %	31 %
32	64	64 %	61 %	65 %	32 %

Время обучение выросло практически в два раза и составило в среднем 17 минут, время работы на тестовой выборке – 2,4 сек. При этом качество обучение улучшилось незначительно.

Попробуем улучшить нашу модель следующим образом. Добавим метод регуляризации Dropout – исключение нейронов с указанной вероятностью. Также воспользуемся операцией субдискретизации MaxPooling2D, которая заключается во взятии максимума к каждой локальной группе. [2] В итоге получаем модель 2.б, результаты обучения которой при разных параметрах представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты работы модели 2.б с операцией субдискретизации

Кол-во ядер в слоях		Кол-во нейронов в полносвязном слое			
		256	200	190	128
32	32	79 %	81 %	80 %	3 %
64	64	81 %	82 %	5 %	5 %
32	64	73 %	80 %	81 %	3 %

Используя оптимизацию, качество распознавания заметно улучшилось. Время обучения также сократилось в среднем до 7 минут, а время работы на тестовой выборке 1 сек. Лучший результат при данной архитектуре составляет 82%. Можно сказать, что оптимизация сыграла большую роль на качество обучения.

Рассмотрим следующую модель, которая состоит из четырех сверточных слоев и одного полносвязного слоя (далее модель 3). Данная модель на тестовой выборке показала чуть луч-

ший результат в 85 %. Но при этом значительно выросло время обучения, которое составило 41 минуту. Время работы на тестовой выборке 5,14 секунд.

Таким образом, для улучшения качества распознавания необходимо использовать метод регуляризации Dropout и операцию субдискретизации (подвыборки) MaxPooling.

Литература

1. Датасет // CoMNIST. – URL:
<https://github.com/GregVial/CoMNIST/blob/master/images/Cyrillic.zip>
(дата обращения: 20.01.2023).
2. *Николенко С.* Глубокое обучение. – СПб.: Питер, 2022.

Секция
«Кибернетика и информационная безопасность»

УДК 510.2+101.1

Н.В. Михайлова

*Институт информационных технологий
Белорусского государственного университета информатики
и радиоэлектроники,
г. Минск, Беларусь*

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МЫШЛЕНИЕ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО**

Компьютер можно считать важнейшим революционным техническим изобретением прошедшего века. Этот мощный инструмент, первоначально создававшийся только для математических расчетов, позволил эффективно проводить математическое моделирование больших классов разнообразных естественнонаучных процессов, которые реально эксплицируют новые образовательные перспективы математического познания. «Подлинный масштаб произошедших изменений – и, тем более, того, что неминуемо произойдет в ближайшее время, – с трудом осознается современниками. Независимо от всяких компьютерных доказательств появление компьютеров уже изменило нашу жизнь как математиков и наше восприятие математики» [1, с. 6]. Ведь математика остается важнейшей частью нашей культуры.

Философский анализ когнитивных проблем математического образования, способствующий пониманию необходимости инновационных процессов как востребованной формы методологической рефлексии, необходим педагогу-исследователю с точки зрения возможности компьютерно-методологического оснаще-

ния преподавания математики в техническом университете. Следует особо отметить, что, с одной стороны, методологию в целом понимали как абстрактную область философии и теоретические построения высокой степени абстракции, не имеющие прямого отношения к потребностям образовательной практики, а с другой стороны, методология конкретного математического знания довольно долго рассматривалась как учение о методах деятельности, например, в математическом образовании разных уровней строгости и обоснованности учебного знания разделов высшей математики.

Известно, что сам термин «компьютерное мышление» ввел специалист по искусственному интеллекту Сеймур Пайперт, хотя стиль такого мышления существовал задолго до него, но стал широко распространяться с появлением и развитием компьютерных машин. Так согласно определению этого термина, «компьютерное или вычислительное мышление – это мыслительные процессы, участвующие в постановке проблем и представлении их решения в форме, которая может быть эффективно реализована с помощью человека или компьютера» [2, с. 110]. Использование компьютеров в математике побуждает заново переосмыслить отношение к математической реальности.

Компьютерное мышление для людей разных специальностей – это не то, как «думают компьютеры». Так для математиков – это, прежде всего, набор разнообразных когнитивных «человеческих навыков» для решения практических задач, то есть компьютерное мышление включает в себя элементы других типов мышления, например, математическое мышление. Однако проблема состоит в том, что появление компьютеров не только изменило интеллектуальное лицо всей цивилизации, но и породило сомнение в надежной философско-методологической обоснованности машинных способов доказательства переусложненных математических теорем. В связи с этим возникла следующая философская проблема: как понимать и применять такие результаты? Основная методологическая идея состоит в том, что это способ получения новой информации, которая ранее не была заметна в обычном строго математическом формализме изложения доказательства.

В проблеме понимания математического доказательства с использованием компьютера важным аспектом является обосно-

вание того, в каком смысле компьютерные доказательства даже в методологическом контексте являются доказательствами, принятыми в философии математики. Формализованность математического доказательства – это все же, в определенном смысле, некая необходимая упрощающая процедура, которая также делает математическое доказательство даже более универсальным и практически доступным для задания его компьютеру. Несмотря на возрастающую роль компьютерных систем в математическом познании, информационная модель современного математического познания, частично реализованная с помощью компьютера или вербализованная в математическом тексте, является, в значительной мере, лишь «эксплицированным намеком» на теоретическое знание, в отличие от хорошо формализованных и структурированных математических теорий, позволяющих понять архитектуру моделируемого знания [3]. Но как же тогда мышление соотносится с таким компьютерным доказательством?

Заметим, что концепция математического доказательства является тем важным эпистемологическим понятием, которое характеризует убедительность математической деятельности, поскольку она еще является и центральной философской проблемой при обсуждении методологических вопросов обоснования математического знания. В более общей постановке речь шла о том, существует ли такой универсальный метод, с помощью которого можно было бы доказать истинность или ложность любого математического утверждения. В философии обоснования математики этот вопрос был переформулирован, и в новой когнитивной интерпретации он заключался уже не в доказательстве истины, а, в связи с инновационным и бурным развитием компьютерных технологий, в доказательстве разрешимости. Неозримость компьютерных доказательств вызывает философские сомнения, считать ли их математическими в традиционном понимании математики.

Литература

1. *Вавилов Н.А.* Компьютер как новая реальность математики. I. Personal account // Компьютерные инструменты в образовании. – 2020. – № 2. – С. 5–26.

2. *Курмангалиев А.Ч.* Компьютерное мышление // Central Asian Journal of Art Studies. – 2019. – № 2. – С. 109–116.
3. *Михайлова Н.В.* Философия математического познания и проблемы компьютерного образования // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2012. – № 6. – С. 24–29.

В.А. Еровенко

*Белорусский государственный университет,
г. Минск, Беларусь*

**СИНДРОМ ПРОФЕССОРА ПРЕОБРАЖЕНСКОГО
В КОНТЕКСТЕ «КРИТИЧЕСКОГО НАСЫЩЕНИЯ»
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ**

Знаменитая повесть Михаила Булгакова «Собачье сердце» посвящена занимательной истории «онтологической проблемы о сотворении» благодаря развитию науки искусственной жизни. Эта повесть является самым значительным произведением в творчестве писателя. «Главный герой – профессор Преображенский, убежденный поборник евгеники – демонстрирует целый набор симптомов модернистской науки, из которых формируется синдром научного и технологического креационизма (то есть «синдром Преображенского») [1, с. 169]. Креационизм, как производное от латинского «creare», т. е. «создавать», – это мировоззренческая концепция, идея которой подвергается жесткой критики, так как она не отвечает критериям научности. Понять суть социальной проблемы может помочь экранизация этой повести Владимиром Бортко. В «Собачьем сердце» представлен крайне неприглядный образ заслуженного и известного профессора, которого сыграл выдающийся мастер перевоплощений неповторимый Евгений Евстигнеев. Он изобразил интеллигента Филиппа Филипповича Преображенского, который очень метко и саркастично-образно подметил нашу действительность, цитаты которого давно разошлись в народ. И хотя Евстигнеев сыграл профессора так, что это вызывает зрительскую симпатию, профессор Преображенский в фильме хорош только благодаря огромному таланту выдающегося актёра, блестяще сыгравшего эту роль. Обозначенная проблема состоит в том, что профессор искусственно создал из собаки Шарикова – «неказистого человека», но тем не менее вполне полноценного для реальной жизни в обще-

стве. Хотя Шариков ни у кого из окружения профессора сочувствия не вызывает, все же яркий образ профессора отличается от булгаковского. Но, как говорил один киногерой о благородном угонщике Юрии Деточкине: «Он виноват, но он не виноват».

Так вот это-то и страшно, поскольку при всей симпатии к профессору Преображенскому, поскольку многие интеллигентные люди ассоциируют себя исключительно с ним, ему не пришло в голову то, что он несет за свое новое создание какую-то нравственную ответственность. Это одна из крайностей нашей жизни, суть которой состоит в том, что профессор Преображенский ничему не обучал несчастного Шарикова, он даже не озаботился тем как помочь социализироваться «новому человеку» и не задумался над тем, как ему устроиться в обществе. Это непосредственно относится и к эффективному обучению математики. В математике приходится постоянно выдвигать идеи, а затем еще рефлексивно-критически к ним относиться, поскольку не только на высоком уровне высказываются и доказываются гипотезы, но и на более низком образовательном уровне. На интеллектуальном уровне критическое мышление связано больше с психологией и здесь математика вряд ли поможет даже при высоком уровне насыщения информацией. «Конечно, при реализации требований критической насыщенности информации следует соблюдать меру – ее перенасыщение (безудержная проблематизация) может привести к "потере информативности"» [2, с. 57]. В контексте методологии математического образования даже в критической насыщенности математической информации должны содержаться обоснованные мотивированные условия математических утверждений, пренебрежение которыми, к сожалению, приводит к неверным заключениям, что можно обнаружить с помощью правильно подобранных примеров и контрпримеров. Некоторые условия или предположения теорем, находясь как бы в «тени формулировки теоремы», иногда кажутся отчасти несущественными, а заключение теоремы при изучении доказательства в такой когнитивной ситуации представляются справедливыми и без них.

Даже на первом курсе обучения новым разделам высшей математики целесообразно включать в инновационные технологии математические задачи и упражнения, которые формируют критический стиль мышления. При изучении информационно

сложных разделов высшей математики, например, у студентов-естественников с точки зрения критического насыщения избыточным объемом учебной математической информации должен вырабатываться определенный исследовательский уровень, который может стать отправной точкой для развития логического мышления. Критическая рефлексия по сути формирует беспристрастный подход к строгому математическому мышлению, освобождая преподавателя математики, который способен к критическому переосмыслению своих поступков, мыслей и идей, от таких ситуативных негативных чувств, как сомнения в студенческом уровне компетентности или своем методологическом профессионализме [3]. Хотя такого рода рефлексии «подвержены» люди многих профессий, для преподавателя остаются актуальными вопросы: как все же определять уровень критического насыщения избыточной математической информацией студентов-нематематиков. В философском контексте учебной деятельности «рефлексия» – это критическое размышление и самопознание, приводящее к осознанию и осмыслению мышления. Трудность реализации критического стиля мышления, как важной образовательной стратегии, состоит в том, что математическое мышление требует определенных индивидуальных усилий самого студента, учитывающих социокультурные реалии его жизни. Формирование критически рефлексивного стиля мышления студентов при изучении высшей математики, в основе которого с методологической точки зрения обоснования любого математического знания лежит доказательность и непротиворечивость, изначально индивидуально сложный процесс.

Хотя профессор Преображенский утверждал, что «разруха не в клозетах, а в головах», его ошибка состояла еще в том, что он не учитывал реальные социальные перемены. Просто «святая простота», избавленная от «химер совести», но эти перемены влияют и на математическое образование. Поэтому «принцип толерантности» должен очень дозированно применяться в парадигме математического образования, так как «падение» уровня университетского образования и отказ от полноценного усвоения «понимаемой математики» неизбежно ведет к разрушению культурных основ жизни. Однако, можно не разбираться в математике и в других точных науках, но при этом быть вполне успешным в

рефлексивно-критическом мышлении. Заметим, что в меняющихся социокультурных условиях жизнедеятельности пока нет места концептуальным методологическим основам педагогики. Тем не менее, в заключение можно сказать, что классические математические и современные компьютерные науки практически помогают развивать критическое мышление тем, у кого оно уже появилось, пусть даже пока еще на начальном уровне.

Литература

1. *Галкин Д.В.* Основания социальной робототехники в контексте социально-гуманитарных исследований // Вестник Омского университета. – 2014. – № 2. – С. 167–177.
2. *Коржуев А., Попков В., Рязанова Е.* Как формировать критическое мышление // Высшее образование в России. – 2001. – № 5. – С. 55–58.
3. *Еровенко В.А.* Феномен университетской лекции в повести А.П. Чехова «Скучная история» и критическая рефлексия преподавания высшей математики // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2022. – № 1. – С. 66–72.

O. Kosheleva, V. Kreinovich

University of Texas at El Paso, El Paso, Texas, USA

TOWARDS GREEN MACHINE LEARNING

Deep learning: successes and challenges. Current machine learning algorithms – especially deep learning techniques – have been spectacularly successful, they succeeded in solving many problems that could not be solved before; see, e.g., [1]. New exciting applications are being found all the time, and more and more people are using deep learning.

This success, however, has undesirable ecological consequences. Indeed, deep learning requires a lot of computations on high performance computers, and these computations use a lot of energy and thus, contribute to climate change. At present, 5 to 10 % of all world’s energy consumption goes into computers, and a significant portion of this amount is used by deep learning applications. How can we make machine learning more friendly to the environment, more “green”?

To make computations green, we need to make sure that computations are reversible. To answer the above question, we need to recall that there is a fundamental reason why computers consume energy.

Indeed, data processing on traditional computers is based on using hardware units – called gates – that implement logical operations, in particular, binary operations like “and” and “or”. Binary operations are, in general, irreversible: they have 4 possible combinations of inputs (0,0), (0,1), (1,0), and (1,1) but only two possible outputs: 0 and 1. For example, when we know that the result $a \& b$ of applying the “and”-gate to inputs a and b is false (i.e., equal to 0), we cannot uniquely reconstruct a and b based on this information: we could have $a = b = 0$, we could have $a = 0$ and $b = 1$, or we could have $a = 1$ and $b = 0$. Every time we have an irreversible operation, the entropy increases. And, according to thermodynamics, every time we have an

increase dS in entropy, the corresponding device emits the amount of heat equal to $T * dS$, where T is the temperature. For each operation, this amount is small, but since a computer performs billions of operations per second, the resulting heating is significant – try holding a laptop on your lap for some time, you will feel it, in spite of all the cooling built into computers.

So, to make computations green, we need to make sure that all operations are reversible.

Of all computer architectures, deep learning is the most fit for reversible computing. Reversible computations mean, in particular, that all elementary operations – that form the computational process – should be reversible. It turns out that deep learning is the best fit for this.

Indeed, e.g., for traditional computers, reversibility is practically an impossible task, since its architecture is based on the use of the traditional (irreversible) gates. Traditional “shallow” neural networks are not much better in this sense: in such a network, we start with n inputs, then transform these inputs into a much larger number N of neural outputs, and then, finally, into a single result. On both stages, the dimensions of the input and output spaces are different, so both stages are irreversible.

In contrast, deep neural networks have approximately the same number of neurons in every layer – and it is easy to make these numbers exactly equal. In this case, at each computation stage, the inputs and outputs of this stage have the same dimension – which eliminates the main obstacle to reversibility.

Equal dimensions are not enough. It is important to mention that equal dimensions are not sufficient for reversibility. We also need to make sure that, if we take into account that each signal is known with some accuracy E , then the total number of input options is exactly the same as the number of output options. One can show – see, e.g., [2] – that this is equivalent to the condition that the determinant $\det(J)$ of the Jacobian J – the matrix formed by partial derivative of each output y_i with respect input x_j – is always equal to 1.

How to achieve perfect reversibility. Of course, the actual layer-to-layer transformation does not have necessarily have the $\det(J) = 1$ property. However, we can achieve this property very simply, by

adding one extra neuron x_0, y_0 to each layer, for which the transformation takes the form $y_0 = x_0 / \det(J)$.

Good news (and not so good news). Good news is that this way, we get reversibility – and thus, potential of green computing – without making the architecture too complex – we are adding just one auxiliary neuron per layer.

Not so good news is that now, at each layer, we need to compute $\det(J)$. This is not so bad, since partial derivatives are computed practically automatically when the network is trained, and computing the determinant takes time close to $O(n^2)$, when n is the number of neurons. This is larger than linear time needed for the usual transformation between layer, but still feasible – and, honestly, the main advantage of deep learning is not that it is fast (its training is rather slow anyway), but that it solves problems that we cannot solve otherwise. Ok, with reversibility, solving these problems will take even longer time – but we will still find the solutions – and save the environment while doing it!

References

1. *Goodfellow I., Bengio Y., Courville A.* Deep Learning. – Cambridge, Massachusetts, USA:MIT Press, 2016.
2. *Galindo O., Bokati L., Kreinovich V.* Towards a More Efficient Representation of Functions in Quantum and Reversible Computing // Proceedings of 11th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology EUSFLAT'2019, Prague, Czech Republic, September 9–13, 2019. – Atlantis Press, 2019. – P. 66–71.

O. Kosheleva, V. Kreinovich

University of Texas at El Paso, El Paso, Texas, USA

NEED FOR TOPOLOGICAL QUANTUM COMPUTING

Need for faster computers. Modern computers are extremely fast, but there are still many important practical problems for which the current computer speed is not sufficient. One of such problems is the problem of tornado prediction. In many areas of the US, destructive tornados appear year after year, bringing lot of destructions and even deaths. Once a tornado is sighted, a warning is issued. In principle, people have access to shelters, but during the tornado season, warnings are issued practically every day, and people cannot spend all their lives in shelters. Besides, for each town, the vast majority of tornados do not enter this town's area. As a result, people ignore the warnings, and once in a while a disaster happens.

The only way to prevent such disasters is to be able to reasonably accurately predict in what direction a tornado will move – this way, warning will be issued only to people in danger, and others will be able to continue their normal activities. In principle, such predictions are possible. After all, tornado is an atmospheric effect just like storms and hurricanes, and we know how to predict weather – in particular, how to predict in what direction storms and hurricanes will move. By spending an hour or so on a supercomputer, we can get a very good understanding of where a storm will move. Similarly, by spending an hour or so on a high performance computer, we can estimate in what direction a tornado will turn. The problem is that tornados are smaller in size and thus, their dynamics is faster: whatever changes occur to a storm in a day takes 15 minutes for a tornado. Thus, the fact that we can predict the tornado dynamics by spending an hour on a supercomputer is useless: by the time we finish computations, the tornado has already changed directions four times.

Thus, we need to make computers much faster. There are many other practical problems in which the same need appears.

To speed up computations, we need to make computer components smaller. A fundamental limit to computation speed is the fact that all communication speeds are limited by the speed of light. Indeed, in a usual laptop of 30 cm size, it takes 1 nanosecond for light to travel from one side to another – and during this time, the simplest 4 GHz processor already performs 4 operations. To make computations faster, we need to make computers much smaller – and thus, we need to make all the components much smaller.

Need for quantum computing. When we decrease the size of computer components, we get sizes comparable to sizes of molecules and atoms. At this level, we cannot rely on the usual Newton's physics, we need to take into account that for objects of this small size, quantum effects are essential. Thus, we arrive at the need for computing that takes quantum effects into account – which is known as quantum computing; see, e.g., [1].

Beyond the current quantum computing, to topological quantum computing. But what if we will need even faster computers? In this case, we will need to get to sizes which are much much smaller than the sizes of molecules and atoms. At certain sizes, according to modern physics (see, e.g., [2]), quantum fluctuations become so large that we can no longer talk about metric, all if left is topology – and causal order.

Topological level is difficult to describe but appropriate for computations. From the mathematical viewpoint, physics at this level is much more difficult to describe – indeed, in the absence of metric, all topologically equivalent spaces are indistinguishable, there are no longer continuous quantities whose changes are described by usual differential equations. The only characteristics that distinguish different topological spaces are discrete characteristics – such as homotopy and homology groups. Physics does not have much experience with dynamics of such discrete structures.

Interestingly, from the computational viewpoint, this discrete character is exactly what the doctor ordered – since all computations are, by definition, discrete. When we get to this level, we will not face the usual challenge of simulating discrete structures on a continuous domain – the domain will be discrete by definition.

This is related to Sakharov's ideas. This discreteness is related to the old idea of Andrei Sakharov that all physically observable

discrete quantities (like electric and other charges) are actually discrete characteristics of the underlying micro-level topological structure – which explains their discrete character. If this idea is true, then topological quantum computers may be easier to design than it may seem – since the mysterious topological characteristics may be something like charges that we observe (and handle) anyway.

References

1. *Nielsen M.A., Chuang I.L.* Quantum Computation and Quantum Information. – Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2011.
2. *Misner C.W., Thorne K.S., Wheeler J.A.* Gravitation. – New York, W. H. Freeman, 1973.
3. *Sakharov A.D.* The topological structure of elementary charges and CPT symmetry // Problems in Theoretical Physics. – 1972. – P. 243–247. (In Russ.); reprinted in *A. D. Sakharov, Collected Scientific Works.* – New City, New York: Marcel Dekker, 1982.

O. Kosheleva, V. Kreinovich

University of Texas at El Paso, El Paso, Texas, USA

**RELATION BETWEEN THE NUMBER OF NUCLEONS
IN THE UNIVERSE AND THE LARGEST NUMBER
OF NUCLEONS IN AN ATOM:
GRAPH-THEORETIC EXPLANATION**

Physical facts. It is known that there are approximately 10^{80} nucleons (protons and neutrons) in the Universe. As for the largest number of nucleons in an atom, there are two possible answers: if we consider only atoms occurring in nature, then the record breaker is Uranium, with 238 nucleons, and if we consider all possible atoms, including those that were artificially generated, then the record breaker is Oganesson Og, element-118, with 294 nucleons; see, e.g., [1; 2].

At first glance, these numbers seem very different and thus, unrelated. However, as we will show, a (seemingly unrelated) mathematical result may provide a relation between the above three numbers.

Mathematical result that we will use. The result that we will use is that in every undirected graph with n vertices, there exists a subset of $(\log_2(n))/2$ vertices in which either all vertices are connected to each other (this is called a clique) or no vertices are connected to each other; see, e.g., [3].

How is this result related to our physical problem. We are interested in which nucleons are connected and which are not: an atom means that all nucleons are strongly connected to each other. Thus, it makes sense to consider a graph in which all nucleons are vertices and two nucleons are connected by an edge if there is a physical relation between them. This way, we consider a graph with $n = 10^{80}$ vertices.

For this value n , the value $(\log_2(n))/2$ is equal to 133. Thus, the above mathematical result means that either there exists a set of 133 nucleons that are not connected to each other – or there is a set of 133 nucleons in which every two nucleons are corrected to each other.

Physicists usually believe that everything in the world is interconnected – this belief has been confirmed by centuries of physical experiments and observations. From this viewpoint, it makes sense to dismiss the case when nucleons are not connected at all. Once we make this dismissal, we conclude that there exists a set of 133 nucleons in which every two nucleons are connected to each other – i.e., in effect, that we have an atom consisting of 133 nucleons.

In other words, in every possible world, the largest size of an atom cannot be smaller than $B = 133$. So what *is* the largest size L of the atom? At first glance, we only know that L is greater than or equal than B . However, a frequently used physics techniques can provide us with a more detailed answer. Let us recall this technique.

Maximum entropy approach helps. In physics, many things are probabilistic: be it statistical physics or quantum physics, we can only predict the probability of different events. In many situations, we do not know the exact probabilities, there are several probability distributions which are all consistent with observations. For example, we may know that the value is located in a certain interval, but we do not know where. This knowledge is consistent with a uniform distribution on this interval, and it is also consistent with the distribution located, with probability 1, at a single point from this interval. In general, in such a case, if we need to select one of the distributions, a natural idea is not to cheat, not to assume less uncertainty than we have: e.g., in the interval case, not to select a single-valued distribution. A natural measure of uncertainty is entropy, the average number of binary questions needed to determine the exact value. Thus, it makes sense to select a distribution with the largest entropy; this is called maximum entropy (MaxEnt) approach [4].

If we have finitely many alternatives and we have no reason to believe that one of them is more probable, a natural idea is to consider them equally probable – and this is exactly what MaxEnt leads to. This particular case – going back to Laplace – is known as Laplace Indeterminacy Principle, and this case is all we need. Let us apply this principle to our problem.

Suppose that we know L and we know that there is a lower bound B which is smaller than L . We do not know the probability of different values B . Thus, according to MaxEnt, all the values from this

interval are equally probable, i.e., we should select a uniform distribution on the interval $[0, L]$. The average value of B in this distribution is $L/2$. Thus, it makes sense to identify our bound $B = 133$ with $L/2$. Then we get $L = 266$.

We have two numbers to compare 266 to: 238 and 294. Again, we do not know which number is more appropriate, so according to MaxEnt, both are equally probable, and the average value is $(238 + 294)/2$, which is exactly 266!

Conclusion. So, we indeed have a graph-based empirical relation between the three physical quantities with which we started.

References

1. *Feynman R., Leighton R., Sands M.*, The Feynman Lectures on Physics. – Boston, Massachusetts: Addison Wesley, 2005.
2. *Thorne K.S., Blandford R. D.* Modern Classical Physics: Optics, Fluids, Plasmas, Elasticity, Relativity, and Statistical Physics. – Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2021.
3. *Rao A.* Sunflowers from soil to oil // Bulletin of the American Mathematical Society. – 2022. – 60(1). – P. 29–38.
4. *Jaynes E.T., Bretthorst G.L.* Probability Theory: The Logic of Science. – Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003.

В.А. Филимонов

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

«УМКА»: УЛЕЙ-МАСТЕРСКАЯ КОГНИТИВНОЙ АРТЕЛИ

Введение. Необходимость существенных технологических изменений в России делает актуальным совершенствование способов коллективной работы, в том числе обучения. Многолетний опыт работы над совершенствованием этих способов [1–4] даёт основание для рекомендаций, перечисленных ниже. Автором в 2022 г. разработан проект частичной модернизации российского образования, соответствующий историческим традициям и требованиям к антихрупкости (термин Н. Талеба). Метафорическое название проекта – «Правый Лапоть» – отражает его основные характеристики: ингерентность Российской культуре, массовость, технологичность, доступность ресурсов, сетевую организацию, наличие пустоты как ресурса. Метафора улья обусловлена тем, что это пример организации сложной коллективной деятельности [5], в которой отсутствует логическая рефлексия членов коллектива. Артель как форма организации коллективной деятельности может быть встроена во многие технологические процессы. Примером являются артели в Российской армии во времена А.В. Суворова, которые выполняли многие функции жизнеобеспечения. В предлагаемой технологии многие функции носят когнитивный характер.

Технология. Предлагаемая технология основана на использовании когнитивной инфраструктуры в формате ситуационного центра (СЦ) и команды (артели) поддержки коллективной работы. Прототипы могут быть построены на доступных ресурсах (СЦ на смартфонах, команда поддержки из одного человека и т.п.). Ориентиром является один из базовых принципов Теории Решения Инженерных Задач (ТРИЗ), который формулируется как Идеальный Конечный Результат (ИКР): система отсутствует, а

функции её выполняются. Также используются кросс-технологии и подход «4К» (коллективный, когнитивный, конфигурационный, конвергентный).

Ключевыми понятиями являются формализация и интерпретация, а также оценка достоверности, а ключевыми методами являются коллективная работа, использование сетевых ресурсов, работа над ошибками, прототипирование. Используются также авторские метафорические когнитивные карты, конструктор учебно-проектной деятельности, методы включённого обучения, рефлексивного театра ситуационного центра [7; 8]. В качестве блиц-метода и прототипа может быть использована технология «Мастерской самообслуживания диссертационного танкодрома ситуационного центра для аспирантов и соискателей» [3]. Также могут быть использованы методы включённого, в том числе игрового, обучения [6].

Заключение. Автор считает возможным использование предлагаемого подхода для частичной модернизации системы российского образования в качестве дополнения к существующим учебным курсам (проект «Правый Лапоть-2022»). Также подход может оказаться полезным при организации коллективных инженерных проектов.

Литература

1. *Филимонов В.А.* Методология и технология компьютерной поддержки работы коллектива экспертов: дис. ... д-ра техн. наук. – Омск, 1998. – 238 с.
2. *Филимонов В.А.* Конфигуратор технологий коллективной работы для виртуальных ситуационных центров // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Информатика и вычислительная техника»: сб. статей II Всеросс. науч.-техн. конф., 27–28 февраля 2020 года. – Анапа: Военный инновационный технополис «ЭРА», 2020. – С. 126–131.
3. *Филимонов В.А.* Мастерская самообслуживания диссертационного танкодрома для студентов и аспирантов // Междун. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы методологии педагогических и психологических исследований в образовании», Омск, 22–23 апреля 2021 г. – Омск: Омская гуманитарная академия, 2021. – С. 161–165.

4. *Мозговой С.И., Филимонов В.А.* Сомнение как компонент экспертизы // Математическое и компьютерное моделирование: сб. материалов IX Междунар. науч. конф. – Омск: Ом. гос. ун-т, 2021. – С. 117–119.
5. *Фриш К.* Расшифровывая язык пчел (Нобелевская лекция 12 декабря 1973 г.). – URL: <https://baskina.com/rasshifrovyvaya-yazyk-pchel-no-belevskaya/>.
6. *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 (CSGB), 7–8 July, Novosibirsk, Russia. – 2022. – P. 40–43. – DOI: 10.1109/CSGB56354.2022.9865445.
7. *Филимонов В.А.* Проект краткого обзорного курса «Избранные вопросы инженерии» // Онтология проектирования. – 2022. – Т. 12, № 4. – С. 495–505. – DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-4-495-505.
8. *Бурмистрова Н.А., Филимонов В.А.* Концепция «клеточки» учебного процесса в высшей школе на основе подхода «4К» // Профессиональный труд педагога высшей школы: монография. – Akademische Arbeit. GRIN Verlag, 2022. – С. 29–47.

М.Р. Алискеров

*Дагестанский государственный технический университет,
г. Махачкала, Россия*

РИСКИ УДАЛЕННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ОНЛАЙН-УСЛУГ НА ОСНОВЕ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Актуальность. Пандемия Covid-19 оказала существенные влияние на рынки в вопросе переформатирования и переходу большинства компаний в онлайн формат. Так, все более востребованными у населения становятся услуги, которые можно получить удаленно, т. е. не посещая офис компании. Сегодня рынок дистанционных услуг достаточно разнообразен, перечень которых активно пополняется. Данное обстоятельство и послужило основанием возникновения необходимости применения удаленной идентификации (далее – УИ) физических лиц, которая представляет удобный, быстрый и безопасный способ получения услуг.

Цель работы. Анализ рисков УИ потребителей услуг на основе биометрических данных и возможности их минимизации.

В результате проведенного исследования рассмотрен международный опыт внедрения биометрической идентификации физических лиц, в частности преимущества и недостатки применения данной системы.

На сегодняшний день в мире существует порядка 50 программ цифровой идентификации. Активнее всего – как в государственном, так и в частном секторах УИ развивают в странах Индии, Бразилии, Канаде, Эстонии, России, Китае, Великобритании, Индонезии, Мексике и ряде других. Этому способствуют технологические инновации, снижение издержек на внедрение цифровых систем, расширение доступа к сети Интернет и рост использования гражданами технических устройств. Так, в Китае с 1985 года работает национальная система ID-карт – Resident

Identity Card (далее – RIC). Данные карты, являются обязательными для лиц старше 16 лет, и содержат биографические и демографические сведения о владельце, такие как имя, пол, национальность, дата рождения, место жительства, а также фото и идентификационный номер. Без RIC в КНР не получится открыть банковский счет, приобрести мобильный номер и др. В настоящее время в КНР работают над оцифровкой ID-карты, что в результате позволит гражданам удаленно услуги.

В Эстонии аналогичную систему e-Identity, запустили в 2000 году. Она имеет одну из самых высоких уровней охвата около 98 % граждан страны, при этом 67 % пользуются ею регулярно. Система связывает более 940 организаций государственного и частного секторов, что позволяет хранить данные и обмениваться ими. Благодаря e-Identity эстонцы имеют удаленный доступ ко всем госуслугам, в том числе участвовать в электронном голосовании.

Аргентинская система цифровых ID – SID использует технологию распознавания лиц для УИ пользователей при получении государственных и банковских услуг.

Биометрию для удаленной идентификации так же активно внедряют и используют в Индонезии, Бангладеш, Албании, Аргентине, Чили, Мексике, Алжире, Нигерии и Кении.

В России в 2018 году заработала Единая биометрическая система (далее – ЕБС), которая посредством авторизации на портале «Госуслуги», позволяет гражданам дистанционно пользоваться услугами, в том числе и открывать счета в финансовых организациях. ЕБС была создана по инициативе Минкомсвязи и Банка России в рамках реализации национальной программы «Цифровая экономика РФ». Главной целью данной системы является повышение доступности цифровых услуг для граждан. В ЕБС для идентификации используются одновременно два параметра – голос и фотоизображение лица человека. Оператором и разработчиком данной системы выступает ПАО «Ростелеком», который отвечает за сбор, обработку и хранение данных, а также проверку их соответствия первично сданным биометрическим образцам. ЕБС является одним из ключевых элементов механизма удалённой идентификации, она работает в тесной взаимо-

связи с Единой системой идентификации и аутентификации (далее – ЕСИА). Способ биометрической аутентификации, реализован следующим образом – субъект ПДн, давший согласие на регистрацию своих биометрических данных, заносится в ЕСИА и ЕБС. Специализированная программа сравнивает изображение и голос, полученные с веб-камеры и микрофона мобильного устройства, с сохраненным ранее образом и оценивает степень совпадения важнейших признаков. В отличие от парольных систем аутентификации, требующих точного соответствия вводимого пароля и пароля, указанного при регистрации пользователя, биометрические системы аутентификации реализуют доступ на основе достаточной степени сходства, предоставляемого и хранимого биометрического образца в банке данных. Если процент совпадения достаточно высок, программа идентифицирует пользователя. Так, развитие технологий биометрической идентификации постепенно вытесняют традиционные процедуры идентификации граждан. Если раньше, чтобы получить, например, денежные средства с банковского счета нужно было идти в банк с паспортом. В банке сотрудник бы сличал фотографию паспорта с вашим лицом, то сегодня люди, у которых уже есть банковская карта и сданы БПДн, могут получить деньги в банкомате банка без ее использования, только показав своё лицо в камеру банкомата [1]. Компания «Ростелеком», намерена в течение ближайших пяти лет инвестировать в развитие ЕБС 1,5 млрд рублей.

Ввиду активного внедрения средств идентификации по биометрии экспертами отмечается устремление киберпреступников к хищению этих данных и активной разработке методик и средств обмана. Так, на конференции Black Hat USA в докладе «Biometric Authentication Under Threat: Liveness Detection Hacking» исследователи продемонстрировали физический способ обхода процедуры идентификации, позволяющий получить доступ к мобильному гаджету. Угроза идентификации с помощью мобильных устройств заключается в том, что с помощью существующих технологий, построенных на методах искусственного интеллекта (далее – ИИ) ее можно обойти. Стремительное развитие технологии дипфейк, создало возможность для злоумышленников наносить серьезный финансовый ущерб. Уже се-

годня есть примеры, которые демонстрируют применение технологии дипфейк с целью финансового мошенничества. Злоумышленники активно используют технологии ИИ для кражи персональных данных (онлайн-личности), распространения дезинформации в обществе, финансового шантажа, мошенничества и автоматизированных кибер-атак [2].

В результате проведённого исследования автор пришел к выводу, что УИ физических лиц по БПДн является перспективной технологией, без применения которой невозможно будет удовлетворить потребности современного развивающегося рынка. При этом применение биометрической идентификации сопряжено с определенными рисками, которые требуют дальнейшего исследования с целью перспективной разработки мер защиты

Литература

1. *Фуфаев М.Д., Криворучко С.В.* Биометрическая идентификация: сущность и риски применения технологии в платежной индустрии // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук.* – 2021. – № 2-3. – С. 39–42.
2. *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.

О.Ю. Данилова

*Воронежский институт МВД России,
г. Воронеж, Россия*

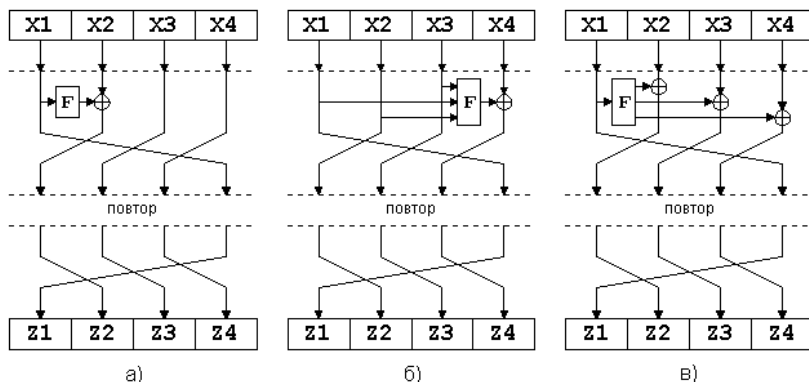
О ПРИМЕНЕНИИ СЕТИ ФЕЙСТЕЛЯ В СОВРЕМЕННЫХ КРИПТОАЛГОРИТМАХ

Проблема защиты личной информации от незаконного прочтения в современном мире приобретает все большую актуальность, поскольку в повседневной жизни каждый человек использует банковские карты, всевозможные социальные сети, подключается к интернету. Защитить конфиденциальную информацию можно, в частности, при помощи криптографических методов [1; 2].

В настоящее время разработано множество всевозможных криптографических протоколов, построенных как на симметричных, так и на асимметричных алгоритмах [3, 4]. Но все они строятся таким образом, что, даже зная сам алгоритм и имея неограниченную возможность шифровать тексты, не удастся получить исходное сообщение, не имея ключей зашифрования [5, 6].

Сеть Фейстеля получила широкое признание и часто используется при построении многих современных криптопротоколов из-за легкости ее практической реализации. Также можно отметить ее высокую криптостойкость. Модель классической сети Фейстеля строится на основе двух ветвей, в каждой из которых входящий блок информации делится на блоки меньшей длины. Каждый такой блок изменяют с помощью некоторых математических операций [7,8], в результате чего на выходе получаются блоки зашифрованного сообщения. Следует отметить, что каждый раз прodelываются одинаковые преобразования над каждым блоком текста, что позволяет легко распространить данную процедуру на все сообщение. Для расшифрования сообщения выполняются операции над блоками информации, подобные действиям при шифровании, только меняется порядок использования ключей.

Повышение способности шифра к разного рода атакам в современных блочных криптографических протоколах достигается за счет применения различных модификаций сети Фейстеля с использованием большего количества ветвей, чем в классическом варианте. На рисунке представлены примеры моделей модифицированной сети Фейстеля на основе 4 ветвей.



Модификации сети Фейстеля

Литература

1. *Бабаш 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. *Столлинкс В.* Криптография и защита сетей: принципы и практика: пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2001. – 672 с.

В.А. Десницкий

*Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН,
г. Санкт-Петербург, Россия*

АНАЛИЗ АТАКУЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА АВТОНОМНЫЕ УСТРОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

В работе анализируются атакующие воздействия, направленные на компрометацию устройств информационно-телекоммуникационных систем и сетей, нарушение их работоспособности и корректности работы встраиваемых в них средств информационной безопасности. При проведении анализа за основу были взяты существующие модели нарушителей киберфизических систем и сетей интернета вещей [1; 2]. Модели были адаптированы за счет комплексного учета ряда ключевых характеристик атак, таких как предполагаемые цели нарушителя и специфичные ограничения, уровень возможностей нарушителя, доступные ресурсы, тип доступа нарушителя к устройству, уровень децентрализации системы, стартовые возможности нарушителя и др. [3].

Особое внимание в работе уделяется анализу атакующих воздействий, ориентированных на автономно работающие устройства и модули беспроводных сенсорных сетей, которые работают с использованием беспроводных каналов связи и автономных возобновляемых источников энергоснабжения. В общем случае эксплуатация уязвимостей, связанных с автономным характером работы устройств и децентрализацией таких систем, позволяет нарушителю не только выполнять компрометирующие действия, связанные с нарушением свойств конфиденциальности, целостности, доступности и их производных, но также позволяет нарушителю повысить степень скрытности своих действий. Это в свою очередь снижает возможности применяемых интегрируе-

мых или внешних средств защиты по своевременному обнаружению таких атак.

В частности, выделяются основные разновидности, а также анализируются характеристики атакующих воздействий, эксплуатирующих свойства децентрализации таких систем, в том числе атак, направленных на истощение энергоресурсов устройств [4]. Полученные научно-технические результаты могут применяться для повышения защищенности информационно-телекоммуникационных систем и сетей в различных областях приложения, в том числе в электроэнергетике, на транспорте, в системах экологического мониторинга и др. В рамках дальнейшей деятельности предполагаются применение результатов анализа и их апробация в рамках разрабатываемого стенда мобильных телекоммуникационных сетей антикризисного управления.

Литература

1. *Rae A.J., Wildman L.P.* A Taxonomy of Attacks on Secure Devices // Proceedings of the Australia Information Warfare and Security Conference, York, Australia, 20–21 November 2003. – P. 251–264.
2. *Abraham D.G., Dolan G.M., Double, G.P., Stevens J.V.* Transaction security system // IBM Systems Journal. – 1991. – Vol. 30. – P. 206–228.
3. *Dsouza J., Laura E., Ved M., Rachna J.* Security in Cyber-Physical Systems // Proceedings of 2019 Amity International Conference on Artificial Intelligence (AICAI). – 2019. – P. 840–844. DOI: 10.1109/AICAI.2019.8701411.
4. *Balueva A., Desnitsky V., Ushakov I.* Approach to detection of Denial-of-Sleep attacks in wireless sensor networks on the base of machine learning // Studies in Computational Intelligence. – 2020. – Vol. 868. – P. 350–355.

А.А. Гавришев

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г. Москва, Россия*

ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОУРОВНЕВЫХ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ СКРЫТЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

В настоящее время в системах связи возможно особо выделить одно из направлений исследований – это передача данных с использованием хаотических сигналов (ХС). Указанное направление возникло в конце XX века и до сих пор привлекает к себе пристальное внимание исследователей и инженеров [1; 2]. С учетом активного развития элементной базы, исследования в области передачи данных с использованием бинарных и многоуровневых хаотических сигналов (МХС) являются актуальными [1–12]. Одним из важных направлений в теории ХС является генерирование сигналов, обладающих свойствами хаотичности. Известно [1, 2], что свойства хаотичности, в первую очередь, определяются с помощью положительного максимального показателя Ляпунова (ПМПЛ). ХС, обладающие ПМПЛ, демонстрируют сложные колебания и являются широкополосными. Указанные свойства делают ХС пригодными для использования в скрытых системах связи [1–12].

Целью данной статьи является разработка обобщенного алгоритма формирования МХС для скрытых систем связи.

Из литературы известно [1–12], что наиболее простым алгоритмом формирования МХС для скрытых систем связи является их непосредственное формирование с помощью различных генераторов хаотических сигналов (ГХС) и выбор из полученного набора МХС таких сигналов, которые удовлетворяли бы предъявляемым показателям оценки качества (ПК). Среди таких ПК для МХС, по мнению различных авторов [1–12], выделяются:

автокорреляционная функция (АКФ) $R(\tau)$, пик-фактор ρ , ПМПЛ λ_{\max} , BDS-статистика $\bar{w}(\varepsilon)$ и некоторые другие.

Разработаем обобщенный алгоритм формирования МХС, который с учетом работ [1–12], может быть представлен в следующем виде:

1) выбирается ГХС, который может описываться одним из следующих выражений: а) разностным уравнением первого порядка $x_{k+1} = f(a_k, x_0, x_k)$, где f_z – функция, определяющая тип отображения, x_0 – начальное время, a_k – управляющий параметр;

б) уравнением второго порядка $\begin{cases} x_{i+1} = f(x_i, y_i); \\ y_{i+1} = g(x_i, y_i); \end{cases}$ в) обыкновен-

ным дифференциальным уравнением вида $\frac{dx_j}{dt} = f_j(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где $j = 1, 2, 3, \dots, N$;

2) выбираются такие начальные условия и значения управляющих параметров ГХС, при которых формируется набор МХС, обладающих ПМПЛ $\lambda_{\max} > 0$;

3) проводится оценка сформированного набора МХС по следующим ПК:

3.1) вычисляются АКФ набора МХС $R(\tau)$, пик-фактор набора МХС ρ , максимальный показатель Ляпунова набора МХС λ_{\max} , BDS-статистика набора МХС $\bar{w}(\varepsilon)$ и проводится сравнение полученных значений с допустимыми: $R(\tau) < R_{don}(\tau)$, $\rho < \rho_{don}$, $\lambda_{\max} > 0$, $\bar{w}(\varepsilon) < \bar{w}_{don}(\varepsilon)$;

3.2) если сформированный набор МХС удовлетворяет допустимым значениям, то он отбирается, иначе исключается;

4) шаги 1–3 повторяются до тех пор, пока не будет сформирован достаточный набор МХС, удовлетворяющий предъявляемым ПК.

Литература

1. Шахтарин Б.И. и др. Генераторы хаотических колебаний. – М.: Гелиос АРВ, 2007. – 248 с.

2. *Kehui Sun* Chaotic Secure Communication: Principles and Technologies. – Tsinghua University Press and Walter de Gruyter GmbH, 2016. – 333 p.
3. *Короновский А.А. и др.* О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации // УФН. – 2009. – Т. 179, № 12. – С. 1281–1310.
4. *Баркетов С.В. и др.* Когерентная система передачи информации хаотическими сигналами // Патент РФ № 2326500 от 10.06.2008. 6 с.
5. *Леонов К.Н. и др.* Математическое моделирование системы передачи информации на основе хаотических сигналов с фрактальной размерностью // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2010. – Т. 13, № 3. – С. 47–53.
6. *Мохсени Т.И. и др.* Когерентная передача цифровой информации с двоичной модуляцией хаотического импульса // Журнал радиоэлектроники. – 2015. – № 6. – 24 с.
7. *Пономаренко В.И. и др.* Системы передачи информации с корреляционным приемом на базе генераторов с динамическим хаосом // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 202–209.
8. *Васюта К.С.* Классификация процессов в инфокоммуникационных радиотехнических системах с применением BDS-статистики // Проблемы телекоммуникаций. – 2012. – № 4. – С. 63–71.
9. *Иванюк П.В. и др.* Хаотическое маскирование информационных сигналов с использованием генератора на базе системы Лю // ТКЭА. – 2012. – № 3. – С. 11–17.
10. *Гавришев А.А.* Моделирование и количественно-качественный анализ распространенных защищенных систем связи // Прикладная информатика. – 2018. – Т. 13, № 5 (77). – С. 84–122.
11. *Гавришев А.А. и др.* К вопросу о расчете значений пик-фактора сигналов, генерируемых распространенными скрытыми системами связи // Вестник НЦБЖД. – 2020. – № 3 (45). – С. 149–157.
12. *Сазонов В.В. и др.* Методика формирования ансамблей дискретных ортогональных сигналов для перспективных систем радиосвязи // Информация и космос. – 2017. – № 3. – С. 31–36.

Е.В. Кузнецов

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРАВАМИ ДОСТУПА В ОБЛАЧНОМ IDE ЯЗЫКА REFLEX

Языки программирования roST и Reflex, разрабатываемые в Институте автоматизации и электротехники СО РАН (ИАиЭ СО РАН), были созданы для удобства программирования технических систем. Но для того, чтобы стать популярными, удобными и современными языкам необходима соответствующая им среда разработки [1].

Было решено создать облачную среду разработки, так как web IDE подразумевает собой кроссплатформенность, облако (это ключевой элемент индустрии 4.0 [2]), возможность совместной разработки и т. д. В данной работе исследуем то, как организовать управление правами доступа в web IDE языков roST и Reflex.

Анализ плюсов и минусов популярных [3] продуктов в области разработки программных решений (codecollab.io [4], replit.com [5], VS Code [6], IntelliJ IDEA [7], Remix Ethereum IDE [8], Arduino Cloud Web Editor [9]) позволил сформировать сравнительную таблицу из 24 пунктов. 2 из которых применены для проектирования управления доступом в IDE.

На этапе построения требований описали роли пользователей в системе: «Читатель», «Редактор» и «Администратор». Также определены варианты всевозможных ограничений, которые объединены в группы:

- «Read-only»: файлы и директории только для чтения;
- «Доступ к терминалу»
- «Действующие лица»: ограничения, устанавливаемые для добавления новых/исключения участников;

- «Блок исполнения»: таких возможностей как запуск и отладка;

«Технологии»: включает в себя ограничения по языкам программирования и используемым плагинам.

На этапе проектирования были реализованы аналитическая диаграмма и примитивный прототип интерфейса панели настроек для администратора.

Литература

1. *Башев В.И.* Ядро Web-IDE процесс-ориентированного языка роST. – Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2020.
2. *Aidrina Sofiadin.* Education 4.0, Industry 4.0, Lifelong Learning: A Descriptive Literature Review // International Journal of Research Publications. – 2022. – Vol. 113, iss. 1. – P. 129–143.
3. The Top IDE Index is created by analyzing how often IDEs; download page are searched on Google. Worldwide, Dec 2022 compared to a year ago. – URL: <https://pypl.github.io/IDE.html>.
4. Our terms and conditions. – URL: <https://codecollab.io/terms> (last updated 13/1/2021).
5. Terms of Service (“Terms”) // Replit. – URL: <https://replit.com/site/terms> (last updated: 11/17/2022).
6. Visual studio code documentation. URL: <https://code.visualstudio.com/docs>.
7. Learn and get assistance // IntelliJ IDEA URL: <https://www.jetbrains.com/idea/resources/> (last updated 20/12/2022).
8. Remix Ethereum IDE Documentation 2022. – URL: <https://remix-ide.readthedocs.io/en/latest/>.
9. Arduino Cloud Web Editor. – URL: <https://support.arduino.cc/hc/en-us/categories/360002234259-Arduino-Cloud>.

А.Д. Ищенко

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАТОРОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПРОЦЕСС-ОРИЕНТИРОВАННОГО ЯЗЫКА roST В СИСТЕМЕ ISABELLE/HOL

Процесс-ориентированное программирование – парадигма программирования, основанная на понятиях процесса и состояния процесса. Процесс-ориентированная программа определяется как множество взаимодействующих процессов, которые могут находиться в различных состояниях. Состояние процесса характеризуется именем и кодом, который выполняется, когда процесс находится в этом состоянии. Процессы взаимодействуют через разделяемые переменные и через специальные операторы в коде состояний, которые запускают/останавливают процессы, меняют их состояния, а также устанавливают/изменяют/отслеживают локальное время нахождения процесса в определенном состоянии, позволяя управлять этим временем (временными интервалами). Эти операторы называются операторами управления процессами.

Язык roST [1] является процесс-ориентированным расширением языка Structured Text [2] стандарта IEC 61131-3, предназначенного для программирования систем промышленной автоматизации. В языке roST выделены два специальных состояния процесса: остановка STOP и ошибки ERROR. В этих состояниях не выполняется никаких действий. Поэтому они называются неактивными состояниями. Остальные состояния называются активными.

Isabelle/HOL [3] – это система машинного доказательства теорем, используемая, в частности, для анализа и верификации свойств программ.

Цена ошибки в управляющем программном обеспечении для систем промышленной автоматизации может быть крайне высока, а полное тестирование такого программного обеспечения зачастую невозможно (в частности, из-за сложности моделирования объекта управления). Моделирование конструкций языка роST в системе Isabelle/HOL позволяет формально определять роST-программы в этой системе и проверять (доказывать) свойства этих программ.

В данной статье рассматривается моделирование операторов управления процессами, представленных в языке роST, а также моделирование операций проверки состояния процесса. К таким операторам и операциям относятся:

- оператор запуска процесса `START PROCESS p`, где `p` – имя процесса, и его краткая форма `RESTART` для текущего процесса;

- оператор остановки процесса `STOP PROCESS p` и его краткая форма `STOP` для текущего процесса;

- оператор перевода процесса в состояние ошибки: `ERROR PROCESS p` и его краткая форма `ERROR` для текущего процесса;

- оператор перезапуска локального времени текущего процесса `RESET TIMER`;

- оператор перехода процесса в определенное состояние `SET STATE s`, где `s` – имя состояния и его краткая форма `SET NEXT` для следующего состояния (в порядке определения состояний в процессе);

- оператор таймаута `TIMEOUT t THEN u END TIMEOUT`, где `t` – временная константа такая, что если локальное время текущего процесса достигает значения `t`, то выполняется последовательность операторов `u`;

- операции проверки текущего состояния процесса: `PROCESS p IN STATE ACTIVE/INACTIVE/STOP/ERROR` – процесс `p` находится в активном/неактивном/останова/ошибки состоянии.

Моделирование работы этих операторов происходит за счет введения глобального контекста, содержащего состояние управляющей системы и передаваемого через все функции, моделирующие работу роST-программы. Контекст включает в себя

карту из имен процессов и их текущих конфигураций. Конфигурация процесса определяет значения его локальных переменных, имена текущего и следующего состояния процесса и локальное время процесса.

На данный момент в системе Isabelle/HOL определены глобальный контекст и набор отдельных функций, моделирующих воздействие операторов управления процессами на него. В будущем планируется полное моделирование работы роST программы в системе Isabelle/HOL.

Литература

1. Zyubin V. E., Rozov A. S., Anureev I. S., Garanina N. O., Vyatkin V. роST: A Process-Oriented Extension of the IEC 61131-3 Structured Text Language // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 35238–35250. – DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3157601.
2. Tiegelkamp M., Karl-Heinz J. IEC 61131-3: Programming industrial automation systems. – Vol. 166. – Berlin/Heidelberg, Germany: Springer, 2010.
3. Nipkow T., Markus W., Lawrence C. Paulson, eds. Isabelle/HOL: a proof assistant for higher-order logic. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002.

И.М. Черненко^{1,2}

¹ *Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет,
г. Новосибирск, Россия*

² *Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

АКСИОМАТИЧЕСКАЯ СЕМАНТИКА ОПЕРАТОРОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПРОЦЕСС-ОРИЕНТИРОВАННОГО ЯЗЫКА роST

Процесс-ориентированное программирование [1] является одним из перспективных подходов к разработке управляющего программного обеспечения. Данная парадигма основана на модели гиперпроцесса [1], в которой программа определяется как множество взаимодействующих процессов. Каждый процесс представляется расширенным конечным автоматом с набором состояний, задающих последовательности действий, включая действия по управлению состояниями других процессов. Помимо обычных активных состояний процесс может находиться в двух неактивных состояниях *STOP* или *ERROR*, соответствующих нормальной остановке процесса и остановке в результате ошибки. Таким образом, процесс-ориентированная программа определяется как множество взаимодействующих процессов.

Язык роST [2] является процесс-ориентированным расширением языка Structured Text (ST) из семейства языков IEC 61131-3 и включает следующие операторы управления процессами. Процессы могут запускать другие процессы, используя оператор *START PROCESS p*, где *p* – имя процесса, и останавливать их нормально или в результате ошибки с помощью операторов *STOP PROCESS p* и *ERROR PROCESS p*. После запуска процесс находится в своем первом состоянии. Операторы *STOP* и *ERROR* позволяют останавливать текущий процесс нормально или по

ошибке, соответственно. Также текущий процесс может быть перезапущен оператором RESTART.

Управляющее программное обеспечение является критическим с точки зрения безопасности и, следовательно, требует верификации. Дедуктивная верификация [3] является одним из методов формальной верификации. В этом методе требования корректности записываются в виде аннотаций (выражений некоторого формального языка), которые добавляются к программам, и для полученных аннотированных программ порождаются условия корректности – логические формулы. Метод дедуктивной верификации предполагает, что если все условия корректности истинны, то программа считается корректной (все требования корректности выполняются). Метод базируется на аксиоматической семантике языка программирования, в которой свойства операторов выражаются отношениями между программными переменными в виде логических формул. Аксиоматическая семантика позволяет проверить соответствие программы предъявляемым к ней требованиям, которые задаются в виде пары логических формул: предусловия и постусловия, являющихся соответственно утверждениями о значения переменных до исполнения и после исполнения программы. Утверждения корректности могут быть записаны в виде тройки Хоара $\{P\}A\{Q\}$, которая является истинной, если программа A корректна относительно предусловия P и постусловия Q . В методе, основанном на семантике сильнейшего постусловия [4], для заданного предусловия P и программы A вычисляется сильнейшее постусловие $sp(A, P)$ – такое постусловие, что $\{P\}A\{sp(A, P)\}$ истинно и для любого постусловия Q если $\{P\}A\{Q\}$ – истинное утверждение, то формула $(sp(A, P) \Rightarrow Q)$ истинна. Условия корректности, в этом случае, имеют вид $sp(A, P) \Rightarrow Q$.

В статье определяется аксиоматическая семантика операторов управления процессами языка roST на основе сильнейшего постусловия. Для этого используется тип данных «состояние изменений», хранящий всю историю изменений состояния программы. Этот тип данных определяется набором конструкторов. Для каждого вида изменений состояния программы определяется соответствующий конструктор. Так конструктор $setPstate(u, p, s)$ устанавливает процесс p в состояние s в состоянии изменений u .

Предусловия и постусловия имеют вид: $P \wedge u_0 = u$, где u и u_0 – состояния изменений, P – утверждение, зависящее от u_0 . Пусть p и p' – процессы, s_i и s_i' – их начальные состояния. Тогда сильнейшее постусловие для операторов управления процессами определяются следующими правилами:

– $\text{sp}(\text{START PROCESS } p', P \wedge u_0 = u) \equiv P \wedge u_0 = \text{setPstate}(u, p', s_i')$;

– $\text{sp}(\text{RESTART}, P \wedge u_0 = u) \equiv P \wedge u_0 = \text{setPstate}(u, p, s_i)$;

– $\text{sp}(\text{STOP PROCESS } p', P \wedge u_0 = u) \equiv P \wedge s_0 = \text{setPstate}(u, p', \text{STOP})$;

– $\text{sp}(\text{STOP}, P \wedge u_0 = u) \equiv P \wedge u_0 = \text{setPstate}(u, p, \text{STOP})$;

– $\text{sp}(\text{ERROR PROCESS } p', P \wedge u_0 = u) \equiv P \wedge u_0 = \text{setPstate}(u, p', \text{ERROR})$;

– $\text{sp}(\text{ERROR}, P \wedge u_0 = u) \equiv P \wedge u_0 = \text{setPstate}(u, p, \text{ERROR})$.

В результате работы была определена аксиоматическая семантика операторов управления процессами языка poST на основе сильнейшего постусловия. В дальнейшем планируется определить аксиоматическую семантику остальных конструкций языка poST и разработать генератор условий корректности для poST-программ, основанный на этой семантике.

Литература

1. Zyubin V.E. Hyper-automaton: A Model of Control Algorithms // Proceedings of the IEEE Intern. Siberian Conf. on Control and Communications (SIBCON-2007). – 2007. – P. 51–57.
2. Zyubin V.E., Rozov A.S., Anureev I.S., Garanina N.O., Vyatkin V. poST: A Process-Oriented Extension of the IEC 61131-3 Structured Text Language // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 35238–35250. – DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3157601.
3. Hähnle R., Huisman M. Deductive Software Verification: From Pen-and-Paper Proofs to Industrial Tools // Lecture Notes in Computer Science, 10000. 2019. P. 345-373.
4. Dijkstra E. W., Scholten C. S. The strongest postcondition // Predicate Calculus and Program Semantics. – Springer, 1990. – P. 209–215.

Т.В. Вахний, С.В. Вахний

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

**ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КРИТЕРИЕВ
ДЛЯ ВЫБОРА СТРАТЕГИЙ АДМИНИСТРАТОРА
БЕЗОПАСНОСТИ И ЗЛОУМЫШЛЕННИКА
ПРИ ИТЕРАТИВНОМ РЕШЕНИИ БИМАТРИЧНОЙ ИГРЫ**

В настоящее время вопросы безопасности компьютерных систем являются чрезвычайно важными в реализации бизнес-целей организаций, потеря или изменение информации которых может привести к огромным убыткам. Существует и постоянно появляется очень большое число угроз безопасности, которые могут быть реализованы как со стороны внешних, так и со стороны внутренних нарушителей. Построение надежной системы защиты представляет собой непростую задачу, требующую от специалистов по безопасности специальных знаний и навыков, а также материальных средств. Во время построения системы защиты и после её внедрения необходимо постоянно анализировать новости, которые касаются атак на информацию, уметь выделять новые угрозы и оценивать риски, связанные с этими угрозами, а также из огромного количества современных средств защиты выбирать наиболее подходящие для понижения риска потери конфиденциальности, целостности и доступности информации.

В данной работе для оптимизации выбора средств защиты компьютерной системы предлагается создать программное приложение для проведения биматричной игры между администратором безопасности и злоумышленником. Ожидаемым итогом такой игры является максимальный гарантированный результат интересующего нас игрока (администратора) и его выигрышная стратегия. Для администратора безопасности выигрышная стратегия определяется наиболее оптимальным набором средств защиты компьютерной системы, а максимальный гарантированный

результат – наименьшим ущербом от действий злоумышленника при минимизации затрат на средства защиты. Выбор администратором безопасности любой другой стратегии приведёт к ухудшению его результатов игры и улучшению их у противника.

Для проведения биматричной игры нужно составить две платежные матрицы игроков, в одной из них на пересечении строк (стратегий атак) и столбцов (стратегий защиты) должны стоять, например, значения суммы ущерба от соответствующей атаки и стоимости программных средств соответствующей стратегии защиты, а во второй – значения разности величины дохода от соответствующей атаки и стоимости программных средств для ее реализации. Кроме того, для каждого игрока предлагается реализовать возможность выбора разных критериев его наилучшей стратегии, например, критериев максимального математического ожидания Байеса, крайнего пессимизма Вальда, недостаточного основания Лапласа, пессимизма-оптимизма Гурвица и т. д. [1–2]. В таком случае при проведении биматричной игры у администратора безопасности и злоумышленника подходы к выбору стратегии поведения могут быть разными, а не строго противоположными, как в матричных играх [1].

Увеличение размеров матриц сопровождается экспоненциальным ростом количества возможных стратегий игроков (т. е. различных сочетаний программных средств) и для проведения биматричной игры с огромными платежными матрицами требуется достаточно продолжительное время. В таких случаях актуально применять методы приближенного решения, которые менее затратны на вычислительные ресурсы [3–5], например, можно применить адаптированный под биматричную игру итеративный метод Брауна-Робинсона [4].

Анализ результатов расчетов биматричных игр, когда можно влиять на выбор стратегии поведения каждого игрока в зависимости от его интересов, поможет администратору безопасности более тонко учитывать различные нюансы в вопросах оптимизации защиты компьютерной системы, а итеративный алгоритм даст выигрыш во времени нахождения решения биматричных игр по сравнению с нахождением точного решения традиционными способами, что позволит достаточно быстро проводить расчеты с платежными матрицами огромных размеров.

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., Новиков Н.Ю.* Матрично-игровая программа с выбором критерия для определения оптимального набора средств защиты компьютерной системы // Математические структуры и моделирование. – 2016. – № 2 (38). – С. 103–115.
3. *Вахний Т.В., Гуц А.К., Пахотин И.Ю.* Определение оптимального набора средств защиты компьютерной системы методом Монте-Карло // Математические структуры и моделирование. – 2018. – № 1 (45). – С. 148–158.
4. *Вахний Т.В., Вахний С.В.* Итеративное решение биматричной игры для оптимизации защиты компьютерной системы // Математические структуры и моделирование. – 2022. – № 1 (61). – С. 105–114.
5. *Петросян Л.А., Зенкевич Н.А., Шевкопляс Е.В.* Теория игр: учебник. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.

Н.Ф. Богаченко¹, Д.Н. Лавров²

¹ Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
г. Омск, Россия

² Нижневартровский государственный университет,
г. Нижневартовск, Россия

ОБМЕН КЛЮЧАМИ В МУЛЬТИМАРШРУТНОЙ СРЕДЕ

Обмен криптографическими ключами – одна из ключевых задач современной криптографии. Традиционно обмен ключами в открытой среде осуществляется на основе асимметричной криптографии (так называемой криптографии с открытым ключом) с использованием третьей доверенной стороны, подписывающей своей электронно-цифровой подписью ключи для зашифрования данных взаимодействующих сторон. Асимметричные алгоритмы основаны на решении сложной математической задачи с секретом, знание секрета позволяет решить задачу легко и быстро, а незнание – приводит к необходимости решения NP-трудной задачи. Так как гипотеза $P = NP$ не доказана и не опровергнута, то криптостойкость данных алгоритмов остается под вопросом. Например, для известного алгоритма RSA, не существует формального доказательства следующих фактов:

1) разложение на множители большого числа трудно выполнимо;

2) разложение на множители необходимо для взлома RSA.

Отметим, что построение квантовых вычислителей приведет к полиномиальному решению задачи факторизации (алгоритм Шора, 1995). Таким образом, современные алгоритмы обмена ключами подвержены проблеме «взлома из будущего».

В данной работе предлагается альтернативный подход к распределению криптографических ключей в открытой среде с несколькими независимыми маршрутами между взаимодействующими сторонами в предположении, что не все эти маршруты контролируются злоумышленником.

Предлагается передавать открытый ключ и на втором этапе зашифрованный сеансовый ключ симметричной шифросистемы посредством алгоритма разделения секрета, рассмотренного в работах [1–4].

Описание алгоритма. Действия на отправляющей стороне.

Шаг 1. Истинно случайным образом (с соблюдением требований безопасности конкретной асимметричной криптосистемы) сформировать открытый ключ K .

Шаг 2. Разбить ключ K на фрагменты по количеству используемых каналов K_1, \dots, K_n .

Шаг 3. Сформировать i -ую долю секрета для передачи по i -му каналу:

$$D_i = K_i \oplus K_{i+1}, i = 1, \dots, n-1.$$

Шаг 4. Сформировать n -ю долю секрета для передачи по последнему n -му каналу: $D_n = K_n \oplus (K_1 \gg 1)$, где \gg – операция побитового циклического сдвига вправо.

Вместо циклического сдвига можно использовать произвольную нетривиальную перестановку, о которой взаимодействующие стороны договариваются заранее.

Действия на принимающей стороне.

Шаг 1. Получить доли секрета D_1, \dots, D_n .

Шаг 2. Вычислить $P = D_1 \oplus D_2 \oplus \dots \oplus D_n = K_1 \oplus (K_1 \gg 1)$.

Шаг 3. Полагая первый бит заданным заранее в K_1 , решить уравнение с предыдущего шага и найти K_1 .

Шаг 4. Восстановить оставшиеся части ключа

$$K_i = D_i \oplus K_{i-1}, \text{ для } i = 2, \dots, n-1;$$

$$K_n = D_n \oplus (K_1 \gg 1).$$

Простой взлом данной системы возможен только при полном контроле всех маршрутов передачи данных между взаимодействующими сторонами.

Более совершенную и надежную систему мы можем построить на основе классических алгоритмов разделения секрета.

Литература

1. Лавров Д.Н. Схема разделения секрета для потоков данных маршрутизируемой сети // Математические структуры и моделирование. – 2002. – № 10. – С. 192–197.

2. *Лавров Д.Н., Дулькейт В.И., Михайлов П.И., Свенч А.А.* Анализ надёжности алгоритма разделения секрета в сетевых потоках // Математические структуры и моделирование. – 2003. – № 12. – С. 146–154.
3. *Гусс С.В., Лавров Д.Н.* Подходы к реализации сетевого протокола обеспечения гарантированной доставки при мультимаршрутной передаче данных // Математические структуры и моделирование. – 2018. – № 2 (46). – С. 95–101.
4. *Лавров Д.Н.* Принципы построения протокола гарантированной доставки сообщений // Математические структуры и моделирование. – 2018. – № 4 (48). – С. 139–146.