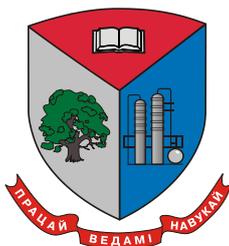


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

*Посвящается Дню белорусской науки,
165-летию лесотехнического образованию Беларуси,
60-летию организации научно-исследовательской части БГТУ,
190-летию со дня рождения Д.И. Менделеева*



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА

**Материалы докладов 88-й научно-технической конференции
профессорско-преподавательского состава,
научных сотрудников и аспирантов
(с международным участием)**

29 января – 16 февраля 2024 года

Минск 2024

УДК 004:005.745(06)

Информационные технологии. Физика и математика :
материалы 88-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского
состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным
участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 года [Электронный
ресурс] / отв. за издание И.В. Войтов; УО БГТУ. – Минск : БГТУ,
2024. – 355 с.

Сборник составлен по результатам научно-технической конференции
сотрудников Белорусского государственного технологического университета, в
которых отражены новые успехи и достижения в информационных технологиях:
алгоритмизации и программировании, передачи и обработки данных.

Сборник предназначен для работников различных отраслей народного
хозяйства, научных сотрудников, специализирующихся в соответствующих
областях знаний, аспирантов и студентов ВУЗов.

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой физики

Н.Н. Крук

канд. техн. наук, зав. кафедрой программной

В.В. Смелов

инженерии

канд. техн. наук, зав. кафедрой информатики

Д.М. Романенко

и веб-дизайна

канд. техн. наук, декан факультета

Д.В. Шиман

информационных технологий

Главный редактор

ректор, д-р техн. наук И.В. Войтов

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Кленицкий Д.В., Гладков Л.Л., Гладкова Г.А., Петрова Д.В., Маес В., Крук Н.Н.</i> Изучение молекулярной конформации и ароматичности NH-таутомеров несимметрично замещенных корролов	8
<i>Жуляк Н.А.</i> Анализ программного кода мобильных приложений с целью выявления его уязвимостей	11
<i>Жуляк Н.А., Уласевич Н.И.</i> Методы распознавания объектов для применения ограничения доступа в помещения	13
<i>Пустовалова Н.Н., Блинова Е.А.</i> Программные роботы и базы данных	16
<i>Хартанович А.А.</i> Сравнительный анализ современных избыточных кодов и их применение в стеганографии	19
<i>Волчек Д.И., Смелова В.В.</i> Свойство фрактальности структуры плана, основанного на балансовой модели В.В. Леонтьева	23
<i>Савельева М.Г.</i> Построение модели стеганографической системы для защиты авторского права растрованных изображений	27
<i>Сазонова Д.В., Козловский В.В.</i> Технологии использования облачной ЭЦП	30
<i>Барковский Е.В.</i> Контроль износа поверхностей материалов печатного контакта на основе анализа готовой продукции	36
<i>Нистюк О.А.</i> Исследование методов текстовой стеганографии на основе модификации параметров	39
<i>Николайчук А.Н.</i> Сравнительный анализ методов сетевой стеганографии на основе модификации пакетов	42
<i>Пилинога М.М., Блинова Е.А.</i> Веб-приложение для оценки текущей успеваемости студентов	46
<i>Кантарович В.С., Гурин Н.И.</i> Методы для моделирования маркированных точечных процессов	50
<i>Уласевич Н.И.</i> Стеганография в векторных изображениях	57
<i>Бернацкий П.В., Смелов В.В.</i> Применение паттернов раскладки деталей в алгоритме нелинейного раскроя плоской поверхности произвольной формы ...	60
<i>Гурин Н.И., Ржеутская Н.В.</i> Тестирование на основе семантической базы знаний	64
<i>Алешаускас В.А.</i> Исследование эффективности автоматизации управления издательско-полиграфическим комплексом с помощью КАНБАН	67
<i>Комкова А.В.</i> Парсинг данных на RUBY: современные практики и лучшие подходы	70
<i>Новикова Т.П., Евдокимова С.А., Новиков А.И.</i> Программное обеспечение справочной информационной системы FLR-library	74
<i>Евдокимова С.А., Новикова Т.П.</i> Информационная система обработки результатов тестирования по моделям IRT	77
<i>Ильченко А.В.</i> Обработка информации о вызовах транкинговой радиосети DMR Tier III	81
<i>Шарифуллин Т.Б., Афанасьев В.В.</i> Влияние управляющих воздействий на крест-факторы сигналов дискретно-нелинейной TSUC системы	85
<i>Шарифуллин Т.Б., Кутдусов И.М., Афанасьев В.В.</i> Особенности корреляционной обработки сигналов MULTI-SCROLL TSUC системы с динамическим хаосом	88
<i>Наурызбаева С.А.</i> Модели каналов передачи данных	90

<i>Виноградов Д.В., Косенко Е.Ю.</i> Нейро-нечеткие модели представления и обработки данных, как эффективный инструмент при прогнозировании электропотребления	93
<i>Атрошкина А.Д., Севрук Е.А.</i> Автоматизированный сбор данных о научных публикациях	99
<i>Шиман Д.В., Муцук А.Н., Гончар Е.А.</i> Эффективность алгоритмов машинного обучения для прогнозирования социальных явлений	103
<i>Станкевич Д.А.</i> Инновации в мобильной разработке	107
<i>Наркевич А.С.</i> Использование больших данных в маркетинговых исследованиях	110
<i>Сухорукова И.Г.</i> Регулирование переобучения нейронной сети при помощи библиотеки KERAS	114
<i>Север А.С., Пустовалова Н.Н.</i> Этапы решения задачи управления информационными рисками предприятия	117
<i>Якубенко К.Д., Гурин Н.И.</i> Проблемы использования дополненной реальности в образовании	121
<i>Скудняков Ю.А., Буснюк Н.Н.</i> Модели организации образовательного процесса	123
<i>Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р., В.С. Валиев, Нурмехамитова В.А.</i> Способ нейросетевого расчёта концентраций парникового газа диоксида углерода для предприятий теплоэнергетики	126
<i>Смирнова С.В.</i> Технология обучения навыков программирования в среде разработки ARDUINO IDE на примере ультразвукового датчика	130
<i>Богдан П.С., Зайцева Е.Г.</i> Алгоритм медицинской дистанционной диагностики в рамках концепций «ТЕЛЕМЕДИЦИНА» и «УМНЫЙ ДОМ»	135
<i>Мирончик Е.С.</i> Пайплайн генерации позы персонажа В Stable diffusion в соответствии с задачей	138
<i>Кудлацкая М.Ф.</i> React и Typescript	142
<i>Шутько Н.П., Потапенко Н.И.</i> Гендерные особенности как фактор успешности профессионального развития веб-дизайнера	145
<i>Щербакова А.Н.</i> , Приложение для генерации защитных изображений по заданному ключу	149
<i>Дятко А.А., Брусенцова Т.П.</i> Моделирование сигнала, отражённого от земной поверхности	152
<i>Новосельская О.А., Савчук Н.А., Кишкурно Т.В.</i> Связь принципов управления цветом с цветовосприятием	156
<i>Талапина Д.М., Новосельская О.А.</i> Разработка алгоритма распознавания штрихового изображения	159
<i>Игнаткова Я.А., Шутько Н.П.</i> Метод комбинированной оценки доступности веб-ресурсов	163
<i>Игнаткова Я.А., Потапенко Н.И.</i> Тренды веб-дизайна в 2024 году	168
<i>Попеня Н.В., Романенко Д.М.</i> Модификация алгоритмов стеганографических преобразований для видеофайлов с учетом особенностей кодеков	171
<i>Кунцевич С.В., Осоко С.А.</i> Моделирование рабочей нагрузки при многопользовательской работе в системе виртуализации рабочих мест на основе PROXMOX VIRTUAL ENVIRONMENT	174
<i>Осоко С.А.</i> Тренды в дизайне презентаций в 2024 году	178

<i>Егоров Д.Ю., Романенко Д.М.</i> Параллельные алгоритмы для обработки BIGDATA	181
<i>Лукашевич С.А., Купо А.Н., Лукашевич Н.В.</i> Информационные технологии в онлайн преподавании	184
<i>Лаврик А.А., Грибанов А.А., Мещерякова А.А.</i> Исследование системы автоматизации котельной установки промышленного предприятия.....	188
<i>Гладкова К.Н., Демяненко Я.М.</i> Анализ моделей для решения задачи распознавания позы человека в сфере тренировок по йоге	192
<i>Бяляўскі Д.А., Дыдо В.В., Зяноўка Я.С., Латышэвіч Д. І., Бакуновіч А.А., Собаль В.С., Гецэвіч Ю.С.</i> Платформа BELAI.BY для аб'яднання даследаванняў і інавацый у сферы штучнага інтэлекту	197
<i>Ремизова И.В., Леонова Н.Л.</i> Разработка мобильного приложения с применением технологий дополненной реальности и QR-кодов для использования в учебных материалах на основе платформы UNITY	201
<i>Маслобоев А.Н.</i> Из опыта использования кроссплатформенной библиотеки TKINTER для разработки визуальных приложений с элементами анимации	205
<i>Ляхнович А.В., Кодина В.И., Самофалов А.Л., Семченко И.В., Сеницын Г.В., Подалов М.А., Хахомов С.А.</i> Исследование спектральных характеристик метаматериала на основе омега-элементов в поляризованном тгц излучении при наклонном падении	209
<i>Кодина В.И., Ляхнович А.В., Королько Д.А.</i> Терагерцовая спектроскопия в исследовании точности калибровки содержания какао в естественно состаренных образцах шоколада интервальным методом проекции на латентные структуры	213
<i>Куликовская П.А., Ходасевич М.А.</i> Классификация полимеров по спектрам ближнего ик диапазона с помощью методов кластерного анализа и выбора спектральных переменных	216
<i>Колесников И.Е., Мамонова Д.В., Королько Д.А., Ходасевич М.А.</i> Ратиометрическая и многопараметрическая термометрия по спектрам флуоресценции $\text{LaVO}_4:\text{Pr}^{3+}$	221
<i>Колодочка П.С., Ходасевич М.А.</i> Классификация географического происхождения лекарственного растительного сырья с помощью многопараметрического анализа спектров оптической плотности его спиртовых растворов	224
<i>Ходасевич И.А., Пиотух А.С., Степура В.С., Длугунович В.А., Исаевич А.В., Корольков М.В., Могилевцев Д.С., Грабчиков А.С.</i> Кинетические характеристики ап-конверсионной люминесценции во фторфосфатном стекле, активированном ионами тулия и иттербия, возбуждаемой непрерывным и фемтосекундным инфракрасным излучением.....	228
<i>Кленицкий Д.В., Гладков Л.Л., Крылов А.Б., Вершиловская И.В., Крук Н.Н.</i> О неэквивалентности NH-центров в ядре макроцикла свободных оснований корролов	234
<i>Наркевич И.И., Фарафонтова Е.В.</i> Сокращенное статистическое описание термодинамических флуктуаций в наноразмерных молекулярных системах	238
<i>Фарафонтова Е.В.</i> Статистическое описание поверхностного натяжения кристаллических наночастиц	241
<i>Карлович Т.Б., Ласовский Р.Н.</i> Исследование кинетических характеристик волчка T1P-TOP в зависимости от положения его центра тяжести.....	243

<i>Грода Н.Г.</i> Равновесные свойства решеточного флюида с притяжением ближайших соседей на двухуровневой непрямоугольной решетке.....	247
<i>Тарасенко Н.Н., Пашаян С.Т., Буцень А.В., Корнев В., Тарасенко Н.В.</i> Лазерно-абляционный синтез оксидных наноструктур меди в жидких средах	251
<i>Тульев В.В.</i> Изучение поверхности структур металл/кремний, полученных ионно-ассистируемым осаждением покрытий в вакууме	254
<i>Бобрович О.Г., Поплавский В.В.</i> Модифицирование поверхности сплавов АМг2М и Д16 осаждением титана и молибдена в условиях ионного ассистирования	258
<i>Поплавский В.В., Бобрович О.Г., Дорожко А.В., Матыс В.Г.</i> Микроструктура и состав слоев, формируемых на поверхности алюминия и сплава Д16Т в процессе ионно-ассистируемого осаждения металлов	262
<i>Поплавский В.В., Поболь И.Л., Дробов А.Н.</i> Особенности фазового состава слоев, формируемых при ионно-плазменном азотировании поверхности сплавов титана	265
<i>Мисевич А.В.</i> Анализ температурной зависимости фотопроводимости фталоцианина свинца на основе двухуровневой модели прыжковой проводимости.....	269
<i>Мадьяров В.Р.</i> Применение эффекта магнитоплазменного отражения для определения скорости поверхностной рекомбинации в полупроводниках.....	273
<i>Якименко А.А.</i> Модальная управляемость одной двумерной системы с запаздыванием в специальном случае	277
<i>Яроцкая Л.Д.</i> О представлении суммы модифицированных функций Бесселя $I_{\nu} + I_{\nu}$	280
<i>Крахотко В.В., Горячкин В.В., Игнатенко В.В.</i> Одна задача управления интервальной нестационарной линейной двухпараметрической дискретной системы.....	284
<i>Волк А.М.</i> Центробежное разделение фаз в коническом пронцаемом элементе	288
<i>Борковская И.М.</i> Примеры построения стабилизирующих регуляторов типа обратной связи для некоторых классов гибридных динамических систем.....	291
<i>Чайковский М.В., Архипенко О.А.</i> Об одном алгоритме численного решения задачи Коши для интегро–дифференциального уравнения Вольтерра	293
<i>Пономарева С.В., Пыжкова О.Н.</i> Дробная производная Вейля почти периодических функций	298
<i>Соловьева И.Ф.</i> О вычислении критических длин граничных задач	302
<i>Асмыкович И.К.</i> О минимальных полях регулирования динамических систем ..	304
<i>Захаркевич И.В., Крахотко В.В.</i> Задача векторной оптимизации состава портфеля ценных бумаг	308
<i>Закривидорога М.А., Крахотко В.В.</i> Управляемость стационарных линейных интервальных систем. Численный эксперимент	311
<i>Савва В.А., Банжак С.А.</i> Периоды колебаний населенностей уровней квантовых систем, когерентно возбуждаемых лазерным излучением	315
<i>Калинин А.И., Лавринович Л.И.</i> Асимптотика решения задачи о минимизации энергетических затрат в разнотемповой сингулярно возмущенной системе	318
<i>Можей Н.П.</i> Редуктивные однородные пространства разрешимых групп Ли, не допускающие эквивалентных связностей	322
<i>Альсевич В.В., Чеботаревский Н.И.</i> Особые программы в задаче оптимального управления со специальным функционалом	325

<i>Дмитрук Н.М.</i> Метод построения оптимальных стратегий с двумя моментами замыкания в задаче минимизации полного импульса управления для линейной системы	328
<i>Ганиев И.Н., Холмуродов Ф., Сафаров А.Г., Каримов Х.</i> Влияние лантана на удельную теплоемкость алюминиево-железowego сплава АЖ2.18	333
<i>Ганиев И.Н., Холмуродов Ф., Сафаров А.Г., Зубайдов А.</i> Исследование термодинамических функций алюминиево-железowego сплава АЖ2.18 с лантаном	336
<i>Лукашевич С.А.</i> Исследование потока электромагнитной энергии дифрагирующих волн.....	339
<i>Картошкин В.А.</i> Сдвиги частоты магнитного резонанса щелочных атомов при оптической ориентации атомов.....	342
<i>Ефимова Ю.В., Теплых Л.В.</i> Разработка и апробация программного комплекса на основе лексических баз данных для усвоения профессиональной лексики студентами ИТ – специальностей.....	346
<i>Камалова А.Р., Надреева Л.Л.</i> Повышение производительности труда в условиях цифровизации.....	350

УДК 535.37+541.65+543.4

Д.В. Клеицкий, доц., канд. физ.-мат. наук (БГТУ, г. Минск);
Л.Л. Гладков, проф., д-р физ.-мат. наук (БГАС, г. Минск);
Г.А. Гладкова, доц., канд. техн. наук (Военная академия РБ, г. Минск);
Д.В. Петрова, науч. сотр., канд. хим. наук (Инст. физики
микроструктур РАН, г. Нижний Новгород, РФ);
В. Маес, проф. (Университет Хассельта, г. Дипенбек, Бельгия)
Н.Н. Крук, зав. каф. физики, проф., д-р физ.-мат. наук (БГТУ, г. Минск)

ИЗУЧЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ КОНФОРМАЦИИ И АРОМАТИЧНОСТИ NH-ТАУТОМЕРОВ НЕСИММЕТРИЧНО ЗАМЕЩЕННЫХ КОРРОЛОВ

Корролы относятся к группе сокращенных тетрапиррольных соединений, у которых четыре пиррольных кольца, соединены между собой тремя метиновыми мостиками и одной C_a-C_a связью. Подобно порфиринам, корролы являются ароматическими соединениями. Даже при отсутствии периферических заместителей, сокращение размеров ядра макроцикла корролов и наличие трех протонов в ядре приводит к тому, что формируется непланарная конформация макроцикла. При этом архитектура замещения и тип периферических заместителей могут сильно влиять на конформацию молекулы.

Нами изучено влияние периферического замещения в мезо-положениях на молекулярную конформацию корролов и степень их ароматичности. В растворах корролы с различным типом периферического замещения существуют в виде смеси NH-таутомеров (рис. 1), которые различаются расположением протонов в ядре макроцикла. Заметим, что электронная и геометрическая структура таутомеров корролов, а значит, и их реакционная способность могут существенно различаться. Это должно приводить к различным спектрально-люминесцентным и физико-химическими свойствам. В случае незамещенного и симметричного замещенного A_3 -типа (с одинаковыми заместителями в положениях 5, 10, 15 макроцикла) либо A_2B -типа коррола (с одинаковыми заместителями в положениях 5 и 15 и любым другим заместителем в положении 10) должно наблюдаться два NH-таутомера T1 и T2. При несимметричном замещении у корролов ABC-типа, когда все три заместителя в мезо-положениях различны, должны наблюдаться четыре NH-таутомера T1, T2, T3 и T4.

Используя программный пакет для квантово-химических расчетов «Природа» методом функционала плотности (DFT) с обменно-корреляционным функционалом PBE и трехэкспоненциальным базисом 3z нами выполнена оптимизация несимметрично замещенных

5,10-димезитил-королла (H_3Cor1), 5- NO_2 -фенил-10-пентафторофенил-15-фенил-королла (H_3Cor2) и проанализирована их молекулярная конформация, а также их степень ароматичности. Результаты анализа сравнивались с незамещенным (H_3Cor) и симметрично замещенным 5,10,15-три(пентафторофенил)-корролом (H_3Cor0).

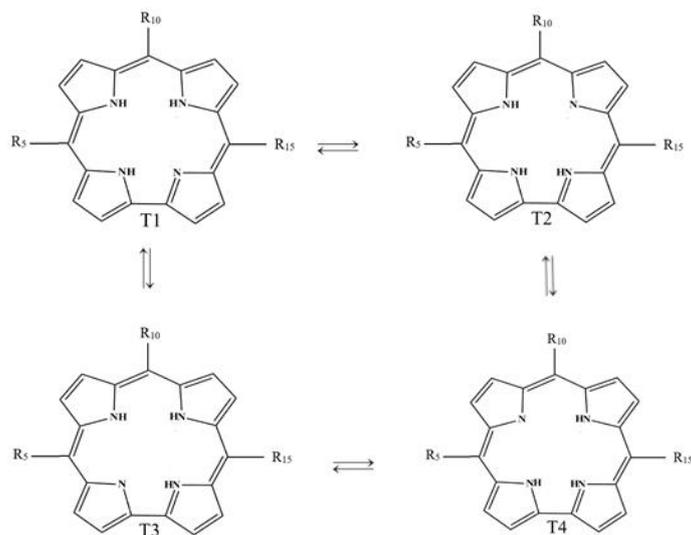


Рисунок – NH-таутомеры мезо-замещенных королюв

Для оценки степени неплоскостных искажений макроцикла мы использовали параметр $\Delta 23$, представляющий собой среднее квадратичное отклонение одного макроциклического атома от плоскости макроцикла [1, 2], а степень ароматичности оценивали с помощью индекса ароматичности НОМА $I_{НОМА}$ [3]. Результаты вычислений приведены в таблице.

Таутомеры T1 и T2 незамещенного королюа H_3Cor характеризуются волнообразным типом неплоскостных искажений с немного различающимися параметром $\Delta 23$. При симметричном H_3Cor0 и антисимметричном H_3Cor1 , H_3Cor2 замещении в мезоположениях характер неплоскостных искажений у T1 и T2 таутомеров не изменяется. Однако степень искажений существенно увеличивается. Это обусловлено увеличением угла наклона пиррольных колец к плоскости макроцикла, а также увеличением их расстояния до плоскости. У T3 и T4 таутомеров антисимметрично замещенных королюв также имеет место волнообразный тип неплоскостных искажений. Однако у них изменяется характер альтернирования пиррольных колец B и C относительно плоскости по сравнению с T1 и T2 таутомерами. Причем у H_3Cor2 соотношение между величиной неплоскостных искажений таутомеров оказывается совершенно другой, чем у H_3Cor , H_3Cor0 и H_3Cor1 .

Таблица – среднеквадратичное отклонение атомов от плоскости макроцикла $\Delta 23$ и индекс ароматичности $I_{\text{НОМА}}$

Таутомер	T1	T2	T3	T4
H ₃ Cor				
$\Delta 23$	0.163	0.152	–	–
$I_{\text{НОМА}}$	0.666	0.654	–	–
H ₃ Cor0				
$\Delta 23$	0.227	0.218	–	–
$I_{\text{НОМА}}$	0.651	0.608	–	–
H ₃ Cor1				
$\Delta 23$	0.198	0.192	0.191	0.169
$I_{\text{НОМА}}$	0.652	0.598	0.643	0.592
H ₃ Cor2				
$\Delta 23$	0.259	0.261	0.275	0.231
$I_{\text{НОМА}}$	0.626	0.575	0.628	0.577

Молекулярная структура корролов допускает несколько вариантов контура π -сопряжения, удовлетворяющих правилу Хюккеля [3]. Возможны восемь контуров, содержащие 18 π -электронов, восемнадцать контуров с 22 π -электронами и один контур, содержащий все 26 π -электронов макроцикла. Для всех возможных контуров сопряжения мы вычислили индексы ароматичности $I_{\text{НОМА}}$, изученных молекул. В таблице приведены индексы для контуров с максимальным значением $I_{\text{НОМА}}$.

У T1 таутомера незамещенного коррола H₃Cor индекс ароматичности оказался немного большим, чем у T2 таутомера. Причем контуры сопряжения с максимальными значениями индекса ароматичности для этих таутомеров различаются. Так у T1 таутомера контур сопряжения замыкается по внешней границе макроцикла, а у T2 максимальным значением индекса обладает контур, содержащий все атомы азота (крестоподобный контур).

При периферическом замещении в мезо-положениях индекс ароматичности таутомеров уменьшается, как для T1, так и для T2 таутомера. Большему влиянию подвергается T2 таутомер, для которого индекс ароматичности уменьшается больше. При этом контур сопряжения для T1 таутомера не изменяется, а для T2 таутомера контур сопряжения изменяется так, что число атомов азота в контуре сопряжения уменьшается (для H₃Cor0 и H₃Cor2 – два атома азота, а для H₃Cor1 – три атома азота)

У несимметрично замещенных корролов H₃Cor1, H₃Cor2 индексы ароматичности для T3 и T4 таутомеров оказались близки к индексам ароматичности T1 и T2 таутомеров, соответственно. Причем соотношение между индексами у этих двух соединений имеет обратный

характер. Если у H_3Co1 индексы ароматичности для T1 и T2 таутомеров больше, чем для T3 и T4 таутомеров, то у H_3Co2 имеет место обратное соотношение. Для T3 таутомера контур сопряжения замыкается по внешней границе макроцикла, как и у T1 таутомера, а контур сопряжения T4 таутомера содержит два атома азота.

Таким образом, несимметричное замещение корролов в мезоположениях приводит к характерным особенностям как в их молекулярной конформации, так и в степени ароматичности таутомеров. Степень неплоскостных искажений макроцикла зависит от периферических заместителей и различается для четырех таутомеров. Величина индекса ароматичности зависит от характера электронной коммуникации между макроциклом и периферическими заместителями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Molecular structure and conformation of free base corroles. / M. M. Kruk [et al.] // *Macroheterocycles*, 2019, vol. 12, P. 58 – 67.
2. Крук Н. Н. Строение и оптические свойства тетрапиррольных соединений. Минск, БГТУ. 2019. С. 216.
3. Квантово-химический расчет и спектроскопическое исследование контура π -сопряжения в NH-таутомерах свободных оснований корролов / Д.В. Кленицкий [и др.] // *Журн. прикл. спектр.*, 2021. Т. 88, С. 836–844.

УДК 004.41.42

Н.А. Жилияк, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО КОДА МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ЕГО УЯЗВИМОСТЕЙ

Проблема информационной безопасности мобильных систем на сегодняшний момент особо актуальна. Это связано с масштабностью такого явления как мобильность: население мира составляет 7,91 млрд человек. Более 67,1% из них используют мобильные телефоны. За прошлый год этот показатель увеличился на 1,8% – пользоваться сотовой связью стали ещё 95 млн уникальных абонентов, а их общее количество к началу 2023 года достигло 5,31 млрд.

Рядовые пользователи не задумываются о безопасности конфиденциальной информации, которую злоумышленник может получить из их же мобильного устройства (личная переписка, финансовые данные, интеллектуальная собственность). Поэтому необходимо уделять проблематике безопасности мобильных систем особое внимание [1].

Можно привести следующую классификацию уровней угроз в отношении мобильных систем:

- физический (кража или непосредственное взаимодействие злоумышленника с мобильным устройством);
- аппаратный (закладки и уязвимости на аппаратном уровне, шпионские устройства, информация сотовых операторов);
- системный (закладки и уязвимости на уровне операционной системы);
- приложений (закладки и уязвимости в системных и сторонних приложениях, использование пользовательской информации, хранящейся на сервере не по назначению);
- социальный (методы социальной инженерии).

Можно также привести классификацию для средств защиты, используемых в мобильных системах:

- аппаратные (шифрование с использованием специальных модулей, встраиваемых в устройство, механическое отключение радиомодулей);
- системные (шифрование с использованием средств, встроенных в операционную систему, системные механизмы авторизации и аутентификации);
- прикладные (антивирусы для мобильных устройств, анализаторы приложений, попадающих в маркеты, приложения для доступа к корпоративной сети);
- обучающие (материалы и курсы для повышения грамотности в сфере информационной безопасности).

Статический анализ программного кода – это проверка исходного кода приложения без реального выполнения на соответствие определенному набору правил. Такой вид анализа может использоваться для выявления ошибок и уязвимостей в исходном коде программного обеспечения. Программа, выполняющая статический анализ называется статическим анализатором [2].

Анализ может проводиться либо над исходным кодом, либо над объектным (MSIL, байт-код). Статический анализ не гарантирует 100% выявления ошибок и уязвимостей. Возможны ложные (false positive) и ложноотрицательные срабатывания (false negative) статического анализатора. По этой же причине статический анализатор в общем случае не предназначен для исправления найденных ошибок и уязвимостей. Он предупреждает программиста о подозрительных и потенциально проблемных участках кода [3].

Статический анализатор можно отнести к прикладному классу средств защиты, используемых в мобильных системах. С помощью

моделирования уязвимостей с последующим их внедрением в приложения, а также разработки алгоритма их определения можно построить статический анализатор, который будет выявлять уязвимости в приложениях для мобильных систем. Такой анализатор может использовать механизм синтаксических деревьев с целью обеспечения более высокоуровневой работы с исходным кодом при его анализе на соответствие условиям алгоритма выявления определённой уязвимости.

В докладе анализируется применение статического анализатора для выявления смоделированной уязвимости типа SQL Injection. Результаты анализа представлены в виде скриншотов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Drake, J. J. Android Hacker's Handbook. Indianapolis: Wiley, 2014. 576 p.
2. Bergman, N. Hacking Exposed: Mobile Security Secrets & Solutions. NY: Mc Graw Hill, 2013. 289 p.
3. Chess, B. Secure Programming with Static Analysis. Boston: Addison-Wesley Professional, 2007. 624 p.

УДК 004.031.43

Н.А. Жилияк, доц., канд. техн. наук;
Н.И. Уласевич, магистрант
(БГТУ, г. Минск)

МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ДОСТУПА В ПОМЕЩЕНИЯ

Обеспечение безопасности информации – это не только совокупность программных и аппаратных средств, работающих непосредственно с хранилищем данных, но и организационные меры и процедуры предприятия или организации.

Без самих процедур ограничения физического доступа сотрудников в различные помещения невозможно обеспечить безопасное хранение информации. Помочь исключить ошибки, связанные с человеческим фактором, может автоматизация части работы, выполняемой охраной.

В контексте обсуждаемой задачи это можно обеспечить с помощью:

- систем контроля доступа в здания и помещения;
- систем видеонаблюдения

Речь пойдет именно о работе систем видеонаблюдения. Необходимо обратиться к методам распознавания образов в изображениях.

Можно выделить два основных направления действия в разработке такого программного обеспечения:

- применить метод перебора вида объекта под различными углами, масштабами, смещениями и т. д.
- найти контур объекта и исследовать его свойства (связность, наличие углов и т. д.)
- использовать искусственные нейронные сети. Этот метод требует либо большого количества примеров задачи распознавания (с правильными ответами), либо специальной структуры нейронной сети, учитывающей специфику данной задачи.

В большинстве случаев, когда нужно простое сравнение двух достаточно похожих фрагментов изображения его реализуют через их ковариацию. На примере этот метод можно представить следующим образом: изображение, содержащее искомый образец передвигается по координатам X , Y по изображению, в котором осуществляется поиск.

Этот способ быстр в реализации и интуитивен. Однако у него есть свои недостатки:

- низкая скорость работы, особенно при обработке больших изображений. Если будет задействован образец $a \times a$ пикселей и изображение поиска $b \times b$ пикселей, то количество операций можно рассчитать, как $a^2 \cdot (b - a)^2$;
- нестабильная работа при смене освещения;
- нестабильная работа при изменении масштаба или повороте изображения;
- нестабильная работа в случае, если часть изображения – изменяющийся фон.

С этими недостатками можно бороться следующими методами:

- недостатки в скорости работы устраняются путем проведения поиска с большим шагом при маленьком разрешении;
- недостатки освещения можно нейтрализовать нормировкой или переходом к бинаризации области;
- изменения масштаба и небольшие искажения объекта поиска можно нейтрализовать изменением разрешения при корреляции;
- с фоном при таком подходе никто не борется.

Существуют и более гибкие методы и алгоритмы поиска. Одним из самых широко используемых для таких задач является метод Виолы-Джонса. Данный метод является высокоэффективным для поиска объектов на изображениях и видеопоследовательностях в режиме реального времени. Виола и Джонс адаптировали идею использования вейвлетов Хаара и разработали то, что было названо признаками

Хаара. Признак Хаара состоит из смежных прямоугольных областей. Они позиционируются на изображении, далее суммируются интенсивности пикселей в областях, после чего вычисляется разность между суммами.

Эта разность и будет значением определенного признака, определенного размера, определенным образом спозиционированного на изображении. Численная характеристика изображения, соответствующая конкретному признаку Хаара, определяется посредством вычитания суммарного значения области темных пикселей из суммарного значения области светлых пикселей. Чаще всего используются области прямоугольной формы либо формы, которую можно представить как совокупность прямоугольников. Такая форма участков выбрана затем, чтобы можно было применить технику интегральных изображений для расчета суммарных интенсивностей в них.

Интегральное представление изображения – это матрица, размерность которой совпадает с размерностью исходного изображения.

Основные принципы, на которых основан данный метод, таковы:

- работа с объектами в интегральном отображении (для увеличения скорости вычисления объектов);
- работа с признаками Хаара, с помощью которых происходит поиск лица и его черт;
- используется бустинг (от англ. boost – улучшение, усиление) для выбора наиболее подходящих признаков для искомого объекта на данной части изображения;
- все признаки поступают на вход классификатора, который даёт результат «верно» либо «ложь»;
- используются каскады признаков для быстрого отбрасывания окон, где не найдено лицо.

Простейший прямоугольный признак Хаара можно определить как разность сумм пикселей двух смежных областей внутри прямоугольника, который может занимать различные положения и масштабы на изображении. Такой вид признаков называется 2-прямоугольным.

Характеристику Хаара можно определить как функцию f от суммарной интенсивности I_A и I_B двух прямоугольных участков изображения A и B таких, что участок A вложен в участок B .

Заключение. Таким образом, потратив некоторое время на планирование и внедрение перечисленных выше технических и организационных мер, можно получить полноценную и рабочую систему ограничения доступа на территорию предприятия и обеспечить надежную базу для безопасности хранения ценной конфиденциальной информации.

ПРОГРАММНЫЕ РОБОТЫ И БАЗЫ ДАННЫХ

В настоящее время мир насыщен различными данными, которые нуждаются в хранении, обработке и анализе. Для обработки больших объемов данных и принятия быстрых решений нужны высокопроизводительные системы управления базами данных.

Система управления базами данных – это программное обеспечение, предназначенное для создания, управления, обновления и анализа данных. Она обеспечивает интерфейс для взаимодействия пользователя с данными, позволяет структурировать данные таким образом, чтобы обеспечить безопасность и эффективное использование.

Для работы с базами данных могут использоваться различные способы. Наиболее современным является использование программных роботов [1].

Роботизированная автоматизация процессов (Robotic process automation – RPA) является одной из технологий автоматизации бизнес-процессов. Программные роботы, которые разрабатываются с использованием этой технологии, умеют повторять действия человека при работе за компьютером в любых информационных системах.

Роботизацию используют для выполнения задач, к которым можно применить чёткую инструкцию. Использование средств автоматизации процессов помогает быстрее справляться с работой, снижать число ошибок, экономить время и перераспределять задачи: программные роботы могут взять на себя выполнение рутинных процессов.

Программные роботы способны получать доступ к различным приложениям; принимать решения на основе правил; писать и отправлять электронные письма; считывать структурированные данные из документов; открывать файлы и вложения; копировать и вставлять информацию.

При взаимодействии с базами данных программные роботы способны осуществлять множество действий.

Ввод информации в базы данных с помощью роботов может выполняться из самых разных источников: из текстовых файлов, из электронных таблиц, из изображений путем их сканирования и применения технологии оптического распознавания символов.

Роботы могут автоматизировать процесс извлечения информации из баз данных и преобразования их в пригодный для использования формат. Это поможет сэкономить время и уменьшить количество ошибок по сравнению с ручными процессами извлечения данных. Поискные результаты можно размещать в тексте, таблицах, выводить на печать, вводить в различные приложения.

Существуют разные платформы для создания роботов. Популярны в мире платформы UiPath, Automation Anywhere, Blue Prism и др. В странах СНГ используются российские платформы Robin, PIX Robotics, Primo RPA, Sherpa RPA, ROOMYbots. Все эти платформы платные.

Для разработки программных роботов в небольших организациях чаще всего используется бесплатная платформа Microsoft Power Automate Desktop, которая входит в состав Windows 11.

Общий алгоритм работы программного робота при взаимодействии с базой данных включает в себя следующие шаги:

- подключение к базе данных;
- выполнение SQL-запроса, осуществляющего нужные действия;
- отчет о полученных результатах;
- при необходимости вывод результатов в некоторое приложение.

Для демонстрации работы программных роботов был разработан робот для взаимодействия с базой данных студентов.

Процедура создания программного робота заключается в разработке алгоритма решения задачи и формирования потока действий перетягиванием блоков из раздела действий на рабочую панель.

На рис. 1 представлен фрагмент интерфейса приложения Power Automate Desktop с несколькими блоками программного робота в центре.

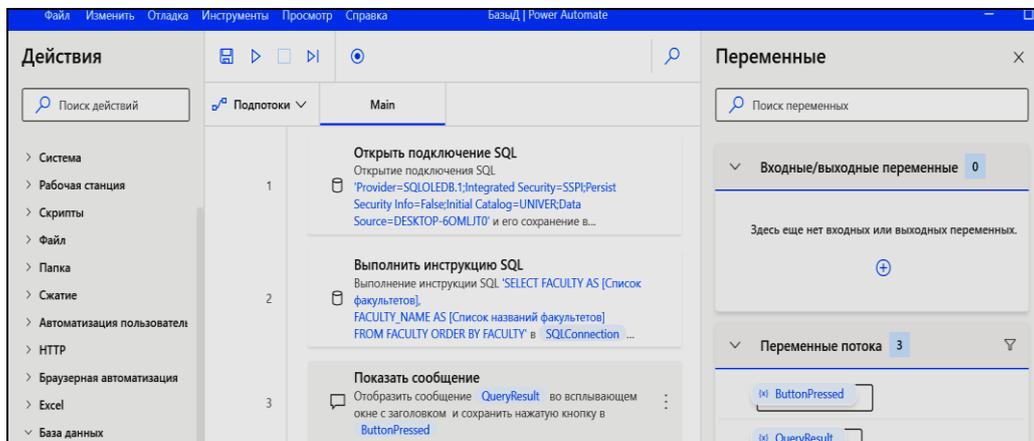


Рисунок 1 – Фрагмент программного робота

Разработка такого робота для поиска информации занимает совсем немного времени и может выполняться специалистом без знания программирования.

Программные роботы можно использовать для автоматизации процесса переноса данных из одной базы данных в другую. При этом может осуществляться проверка данных, их сопоставление и передача. Резервное копирование и восстановление баз данных также можно поручить роботам.

Можно автоматизировать процесс мониторинга баз данных для повышения производительности, доступности и безопасности. Это может включать в себя создание отчетов о производительности, проверку потенциальных угроз безопасности и создание оповещений.

Также роботы способны автоматизировать процесс обслуживания баз данных, такой как обновление индексов, выполнение проверок согласованности и оптимизация производительности базы данных. На кафедре информационных систем и технологий разработана и преподается студентам дисциплина «Разработка программных роботов».

Целью дисциплины является изучение и практическое освоение студентами методов, алгоритмов и инструментальных средств разработки программных роботов для автоматизации различных бизнес-процессов. Электронный лабораторный практикум используется студентами как в компьютерных классах, так и для дистанционного обучения [2].

Таким образом, программные роботы при работе с базами данных могут повысить эффективность, уменьшить количество ошибок и высвободить время сотрудников, чтобы сосредоточиться на более сложных задачах.

При этом использование платформы Power Automate Desktop позволяет в короткие сроки создавать программные роботы различной степени сложности. Интуитивно понятный интерфейс делают его хорошим выбором как для профессиональных, так и для начинающих пользователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пустовалова, Н. Н. Автоматизация выбора оборудования на платформе Power Automate Desktop / Пустовалова Н. Н., Коровкина Н. П. // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2022. № 2 (260). – С. 87–91.

2. Блинова, Е. А. Система дистанционного обучения и повышения квалификации Sap Learning Hub / Е.А. Блинова, Н. Н. Пустовалова // Высшее техническое образование. – 2018, № 2. – С. 64–70.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИЗБЫТОЧНЫХ КОДОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СТЕГАНОГРАФИИ

Стеганография – наука о передаче сокрытых данных внутри других, открытых данных [1]. Стеганография делает сообщение незаметным, пряча его в других данных тем или иным способом.

Избыточные коды в стеганографии относятся к методам использования дополнительной информации или структуры данных внутри скрытых сообщений.

Одним из методов использования избыточных кодов в стеганографии является «кодирование ошибок». В этом методе используются дополнительные биты, кодирующие информацию об ошибках, которые могут возникнуть при передаче или изменении данных.

Другой метод использования избыточных кодов в стеганографии основан на принципе «канального кодирования». В этом случае дополнительные биты кодируются вместе с исходными данными, что обеспечивает дополнительную защиту от ошибок и помогают восстановить исходные данные при наличии искажений или потерь.

Избыточные коды могут быть использованы для сокрытия информации внутри структуры данных носителя. При извлечении данных, например, из пикселей изображения эти дополнительные биты будут служить для обнаружения и коррекции ошибок.

К современным избыточным кодам относятся фонтанные коды (fountain code) и коды с малой плотностью проверок на чётность (LDPC).

Фонтанные коды представляют собой класс кодов стирания со свойством, заключающимся в том, что неограниченная последовательность символов кодирования может быть сгенерирована из заданного набора исходных символов таким образом, что исходные символы в идеале могут быть восстановлены из любого подмножества символов кодирования соответствующего размера равно или лишь немного больше количества исходных символов [2].

Фонтанные коды применяются в стеганографии при встраивании информации в контейнер, например, в виде изображений, аудиофайлов, видеофайлов, текстовых файлов, чтобы обеспечить конфиденциальность и незаметность передачи сообщений.

Процесс встраивания скрытой информации включает генерацию фонтанных кодов. Затем эти кодовые символы встраиваются в носитель с помощью различных методов.

Преимущества фонтанных кодов:

- гибкость и эффективность, так как они позволяют генерировать и встраивать неограниченное количество кодовых символов в носитель;

- устойчивость к атакам, так как они обладают высокой способностью обнаруживать и исправлять ошибки;

- расширяемость, так как они могут быть легко адаптированы для передачи различных типов данных;

- возможность отправлять данные по ненадежным каналам связи;

- обеспечение высокой эффективности передачи данных, так как они могут достигать предела Шеннона;

- возможность адаптации к изменяющимся условиям канала, так как они способны компенсировать потери и помехи в канале путем простой передачи дополнительных кодовых символов.

LDPC (low-density parity-check) коды являются классом линейных блочных избыточных кодов, которые широко используются в области кодирования и коррекции ошибок [3]. Отличием от большинства блочных кодов является определение их как low-density: их матрицы проверки на четность должны быть разреженными, то есть это коды, заданные матрицей проверки четности, содержащей в основном нули и лишь небольшое количество единиц.

LDPC коды используются в стеганографии для скрытой передачи информации в носителях, например, в изображениях, аудиофайлах, видеофайлах, текстовых файлах.

Одним из методов внедрения скрытой информации с использованием LDPC кодов в стеганографии является «стеганография на основе изменения четности». В этом методе, сообщение, представляется в виде битового вектора, который затем кодируется с использованием LDPC кода в дополнительные биты, называемые битами изменения четности. Эти биты изменения четности добавляются к носителю различными методами согласно LDPC коду.

Использование LDPC кодов в стеганографии позволяет достичь эффективной и незаметной передачи данных, так как они имеют низкую плотность проверочной матрицы и хорошие способности коррекции ошибок.

Преимущества LDPC-кодов:

– низкая плотность проверочной матрицы, что упрощает процесс кодирования и декодирования данных;

– обладание близкой к пределу Шеннона способностью коррекции ошибок;

– возможность использования в стандартах беспроводной связи.

В данной работе был произведен сравнительный анализ рассмотренных современных избыточных кодов: фонтанного кода и LDPC кода; и известного избыточного кода Хэмминга. Все перечисленные коды анализировались по следующим параметрам:

1. Эффективность исправления ошибок – качественная характеристика, отражающая способность кода восстанавливать исходную скрытую информацию с высокой степенью точности и надежности при наличии различных искажений или ошибок, возникающих в процессе передачи, хранения или обработки данных. 10 баллов – высокая способность исправления ошибок. 5 баллов – относительно хорошая способность исправления ошибок. 0 баллов – низкая способность исправления ошибок.

2. Пропускная способность – характеристика, отражающая возможность кода генерировать неограниченное количество кодовых слов различной длины при передаче данных. 10 баллов – высокая пропускная способность. 5 баллов – относительно хорошая пропускная способность. 0 баллов – низкая пропускная способность.

3. Отношение эффективности к длине кодового слова – характеристика, которая показывает, насколько эффективно коды используют дополнительные биты для исправления ошибок при относительно небольшом увеличении длины кодового слова. 10 баллов – высокая способность исправления ошибок при относительно небольшом увеличении длины кодового слова. 5 баллов – относительно хорошая способность исправления ошибок при относительно небольшом увеличении длины кодового слова. 0 баллов – низкая способность исправления ошибок при относительно небольшом увеличении длины кодового слова.

4. Гибкость адаптации – характеристика, которая позволяет настраивать пропускную способность и надежность в зависимости от условий канала. 10 баллов – высокая гибкость адаптации. 5 баллов – относительно хорошая гибкость адаптации. 0 баллов – низкая гибкость адаптации.

5. Сложность реализации – характеристика, которая показывает, насколько сложной является структура кода, которая требует большого количества вычислительных ресурсов для алгоритмов кодирования и декодирования информации. Код, требующий больших

вычислений, может привести к высокому качеству сокрытия, что также может повлечь увеличение времени на выполнение алгоритма, но в некоторых случаях время выполнения может играть большую роль. 10 баллов – невысокая сложность реализации. 5 баллов – относительно невысокая сложность реализации. 0 баллов – высокая сложность реализации.

На основе сравнительного анализа по нескольким параметрам можно сделать вывод о каждом избыточном коде. Анализ показал, что наиболее хорошим для использования является фонтанный код.

Таблица – сравнительный анализ избыточных кодов

	Фонтанный код	LDPC код	Код Хемминга
Эффективность исправления ошибок	5	10	0
Пропускная способность	10	5	0
Отношение эффективности к длине кодового слова	10	5	0
Гибкость адаптации	10	5	0
Сложность реализации	5	0	10
Итоговая оценка	40	25	10

Полученные результаты могут свидетельствовать о рациональности использования фонтанного кода в стеганографии в силу его преимуществ. Однако нельзя ориентироваться только на итоговую оценку, необходимо подбирать код по определенным критериям. В каждом коде есть свои достоинства и недостатки. При выборе кода важно обращать внимание на объем информации, на факторы угрозы безопасности информации и на высокое качество сокрытия и устойчивости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урбанович, П.П. Защита информации методами криптографии, стеганографии и обфускации: учеб.-метод. пособие / П.П. Урбанович. – Минск: БГТУ, 2016. – 220 с.
2. MacKay, D. J. C. Fountain Codes / D. J. C. MacKay // IEEE Communications. – 2005. – Vol. 152, № 6. – P. 1062-1068.
3. Giuseppe, C. LDPC coding for interference mitigation at the transmitter / C. Giuseppe, D. Burshtein, S. Shamai // 40th Annual Allerton Conference on Communications, Control and Computing. – 2002. – P. 217–226.

**СВОЙСТВО ФРАКТАЛЬНОСТИ СТРУКТУРЫ ПЛАНА,
ОСНОВАННОГО НА БАЛАНСОВОЙ МОДЕЛИ
В.В. ЛЕОНТЬЕВА**

Введение. В общем случае промышленный кластер представляет собой совокупность независимых субъектов хозяйствования (участников кластера), объединившихся с целью повышения эффективности совместной деятельности. Основным признаком кластера – отсутствие единого централизованного управления: участники кластера руководствуются только горизонтальными договорными обязательствами между собой, образуя при этом устойчивые производственные цепочки. В [1] предложена концепция цифровой платформы промышленного кластера – специализированной компоненты инфраструктуры кластера, представляющей собой информационную систему, предназначенную для поддержки деятельности и развития кластера на протяжении всего его жизненного цикла. Создание такой платформы позволит решать принципиально новые задачи, повышающие эффективность деятельности участников кластера. В [2] сформулирована задача многостороннего клиринга для взаиморасчетов между участниками кластера. В работе [3] формально описывается кластер, как система участников, образующих производственные цепочки для выпуска промежуточной и конечной продукции, а также предложен метод планирования валового объема, производимой участниками кластера, продукции на основе балансовой модели В.В. Леонтьева. В [4 – 5] вводится понятие системы планирования в промышленном кластере и развивается метод, предложенный в работе [3].

Система планирования. Будем предполагать далее время дискретным $t = t_1, t_1+1, \dots, t_2$. В общем случае заданная величина Y распределена на отрезке времени $[t_1, t_2]$ не равномерно и может быть задана дискретной функцией $Y(t)$ – объем продукции, который должен быть произведен для внешних потребителей за отрезок времени $[t-1, t]$. Матричное балансовое уравнение примет вид: $X(t) - AX(t) = Y(t)$, $t = t_1, t_1 + 1, \dots, t_2$, где значения функции $Y(t)$ заданы на отрезке $[t_1, t_2]$, а решением уравнения является дискретная функция $X(t)$. При этом, для каждого значения $t = t'$, элементы $x_i(t')$, $i = \overline{1, h}$ столбца $X(t')$ равны запланированным валовым объемам продуктов r_i за отрезок времени $[t' - 1, t']$.

Ввиду линейности верно утверждение: $Y = \sum_{t=t_1}^{t_2} Y(t) \Leftrightarrow X = \sum_{t=t_1}^{t_2} X(t)$. Пусть $D_n = \{d_1, d_1, \dots, d_n\}$, $d_i \in \mathbb{N}$, $d_i > 1$, $(t_2 - t_1 + 1) \div \prod_{i=1}^n d_i$ – конечная последовательность n натуральных чисел с элементами $d_i > 1$ такая, что количество интервалов $t_2 - t_1 + 1$ на отрезке $[t_1, t_2]$ кратно произведению всех элементов этой последовательности.

Если все компоненты системы S известны, балансовое уравнение и его решение корректны [5], то система планирования H_S , реализующая метод декомпозиции по времени плана продукции ПК (МДВП), в общем виде может быть задана четверкой: $H_S \equiv \langle t_1, t_2, D_n, NSF \rangle$, где величины $t_1 < t_2$ – задают период планирования, D_n – последовательность k коэффициентов декомпозиции плана по времени; NSF – процедура перераспределения планируемых объемов производства продуктов на каждом шаге декомпозиции плана; предполагается, что перераспределение осуществляется при согласовании плана участниками ПК, производящими продукты из собственных соображений.

Конечным результатом алгоритма, реализующего МДВП, является пара дискретных функций $\pi(t) = \langle X(t), Y(t) \rangle$, отражающих план выпуска продукции для внешних потребителей и валовой план производства продукции кластера S на отрезке времени $[t_1, t_2]$. $Y(t)$ и $X(t)$ представляют собой два ансамбля функций $y_i(t)$ и $x_i(t)$, $i = \overline{1, h}$, для которых на отрезке $t \in [t_1, t_2]$ уравнения $(a_{ij} - 1)x_i(t) - \sum_{j \neq i} a_{ij}x_j(t) = y_i(t)$, $i, j = \overline{1, h}$ обращаются в тождества.

Исходным значением для построения производственного плана $\pi(t) = \langle X(t), Y(t) \rangle$ кластера S является матрица-столбец Y , содержащая целевые плановые значения y_i , $i = \overline{1, h}$ суммарных объемов продуктов, предназначенных для внешних потребителей. Предположим, что с помощью процедуры получены все функции ансамбля $Y(t)$, то функции $x_i(t)$ ансамбля $X(t)$ могут быть найдены решением t_2 систем линейных уравнений $X(t) - AX(t) = Y(t)$ размерностью h . Такой способ решения задачи планирования возможен, если вычисленный валовый план может быть осуществимым. Заметим, что коэффициенты декомпозиции D_k при такой постановке задачи не применялись. Очевидно, что система планирования при таком подходе может быть описана проще: $H_S \equiv \langle t_1, t_2, NSF \rangle$. Построение плана в этом случае сводится к циклу, включающему выполнение процедуры NSF для подбора и согласования с участниками ПК функций ансамбля $Y(t)$, вычислению и согласованию с участниками ПК функций ансамбля $X(t)$. У такого

способа построения плана есть недостаток: с ростом величины ht_2 процесс согласований плана становится сложным, а цикл подбора пары $\pi(t) = \langle X(t), Y(t) \rangle$ может быть бесконечным.

Фрактальность структуры плана. В работах [4] и [5] описаны системы планирования и алгоритмы, позволяющие построить календарный план производства продукции промышленным кластером (1). План представляется описывается двойкой $\pi(t) = \langle X(t), Y(t) \rangle$, где $X(t)$ и $Y(t)$ – дискретные функции, определенные на упорядоченном множестве $0, 1\tau, 2\tau, \dots, t\tau, \dots, \bar{t}\tau$, где величина τ – минимальный (единичный) временной отрезок планирования (например: час, день, месяц, квартал и т. д.). Предполагается, что $X(0) = Y(0) = (0 \dots 0)^T$. При $t = 1, 2, \dots, i$: $X(t) = (x_1(t) \dots x_h(t))^T$ – валовый объем продукции, произведенный за интервал времени $((t-1)\tau, t\tau]$ и $Y(t) = (y_1(t) \dots y_h(t))^T$ – объем продукции для внешних потребителей, произведенной за интервал времени $((t-1)\tau, t\tau]$.

В постановке задачи календарного планирования предполагается известными: $[0, \bar{t}\tau]$ – временной отрезок планирования, τ – единичный отрезок времени и величина $\bar{Y}(0, \bar{t})$, где $\bar{Y}(t_1, t_2) = \sum_{t=t_1}^{t_2} Y(t)$. Искомыми являются функции $X(t)$ и $Y(t)$. Причем предполагается, что функция $Y(t)$ зависит от внешних по отношению к системе планирования условий (например, обязательств по внешним договорам) и может быть построена или перестроена в рамках процедур *NSF*. Построение $X(t)$ в [4] и [5] сводится к решению матричного разностного уравнения, которое преобразовывается в систему линейных уравнений размерности $h \times i$.

Заметим, следующее: алгоритм построения плана $\pi(t) = \langle X(t), Y(t) \rangle$ инвариантен по отношению к величинам τ и \bar{t} ; справедливо утверждение $\forall(0 \leq t_1 < t_2 \leq \bar{t}): \bar{X}(t_1, t_2) - A\bar{X}(t_1, t_2) = \bar{Y}(t_1, t_2)$; другими словами, план является согласованным на любом отрезке времени периода планирования; справедливо утверждение $\forall(0 \leq t \leq \bar{t}): X(t) - AX(t) = Y(t)$; другими словами, план является согласованным в любой точке времени отрезка периода планирования.

Описанные выше свойства системы планирования и согласованного плана $\pi(t) = \langle X(t), Y(t) \rangle$ позволяют говорить о свойстве самоподобия структуры этого плана или фрактальности.

Заключение

Основой метода декомпозиции плана продукции по времени является балансовая модель В.В. Леонтьева. При классическом применении метода В.В. Леонтьева вычисление валового плана X осуществляется путем решения матричного уравнения $X - AX = Y$. Предлагае-

мый метод предполагает решение уравнения $X(t) - AX(t) = Y(t)$, $t \in [t_1, t_2]$, при тех же исходных данных (задано суммарное значение Y на отрезке $[t_1, t_2]$), но позволяющего получить детальный план $\langle X(t), Y(t) \rangle$, $t \in [t_1, t_2]$.

Так как структура плана обладает свойством фрактальности, то на каждом промежутке времени алгоритм расчета плана будет одинаковым. Это позволяет ввести оператор, с помощью которого можно рассчитывать план, просто задавая необходимые параметры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новикова, И.В. Концепция цифровой платформы инновационно-промышленного кластера. / И.В. Новикова, В.В. Смелова, Ю.А. Тимофеева, Д.В. Шиман // Импортзамещение, научно-техническая и экономическая безопасность: сб. ст. V Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения – 2022», Минск, 7–9 декабря 2022 г.: в 3 т. – Минск: БГТУ, 2022. – Т. 2. С. 3–7.

2. Новикова, И.В. Клиринговая система взаиморасчетов между участниками инновационнопромышленного кластера / И.В. Новикова, В. В. Смелова, Д. В. Сазонова // Цифровая трансформация. 2023. 29 (3). С. 5–14. – <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-3-5-14>.

3. Новикова, И. В. Балансовый метод планирования производства продукции инновационно-промышленным кластером / И.В. Новикова, В.В. Смелова, А.Д. Томко // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 4. С. 5–14. – <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-5-14>.

4. Волчек, Д.И. Метод и алгоритм декомпозиции по времени плана производства продукции промышленного кластера. / Д.И. Волчек, В.В. Смелова, Д.В. Шиман, В.В. Смелов // Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС: сб. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2023» в 3 т. Минск, 06–08 декабря 2023 г. – Минск : БГТУ, 2023. – Т. 1. С. 104–108.

5. Волчек, Д.И. Метод и алгоритм построения календарного плана производства продукции промышленным кластером при ограниченной производительности его участников / Д.И. Волчек, В.В. Смелова, А.В. Якунович, Д.В. Шиман, В.В. Смелов // Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС: сб. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2023» в 3 т. Минск, 06–08 декабря 2023 г. – Минск : БГТУ, 2023. – Т. 1. С. 562–567.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АВТОРСКОГО ПРАВА РАСТРИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Благодаря современным компьютерным технологиям, продвижению глобальных компьютерных сетей и развитию мультимедийных инструментов, мы имеем возможность разрабатывать и внедрять новые методы, направленные на обеспечение компьютерной информационной безопасности. Скрытие информации представляет собой один из методов, разработанных для предотвращения несанкционированного доступа к цифровым материалам и сохранения прав и интересов авторов [1].

Электронный документа-контейнера, который защищен от несанкционированного доступа или изменений с помощью стеганографии, может быть создан как на основе растровой, так и векторной графики. При этом оригинальный контент может быть преобразован из одного формата графики в другой. При преобразовании текстовых документов-контейнеров одним из ключевых аспектов является растривание текста, что может привести к размытию контуров букв и появлению градиента цвета вдоль контура. Однако такую ситуацию можно использовать для встраивания секретной информации, такой как цифровой водяной знак, в защищаемый контент. Поэтому в качестве контейнера будут рассматриваться растрованные текстовые документы.

На рис. 1 изображена обобщенная схема стеганографической системы. Данная схема представляет собой важный инструмент, который помогает понять и оптимизировать процессы стеганографии. Каждый компонент системы имеет свою уникальную роль и взаимосвязь с другими элементами [2].

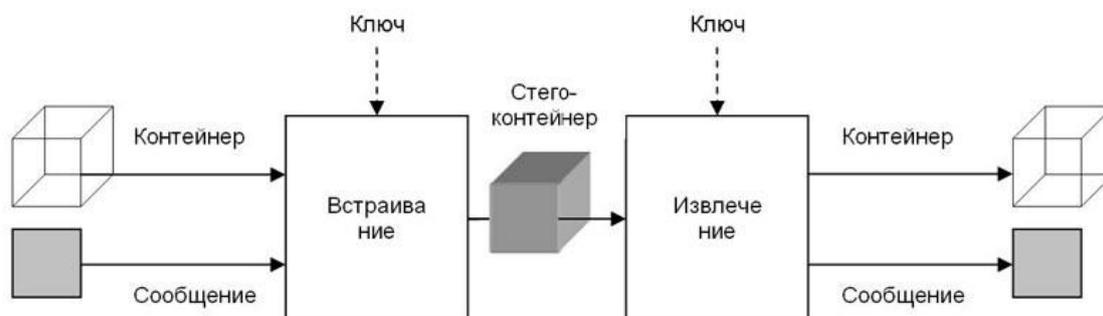


Рисунок 1 – Общая схема стеганографической системы

Формально процесс встраивания (осаждения) тайных сообщений M , с помощью которого, в частности, можно решать задачу защиты авторского права на контент, содержащийся в документах из множества C , можно описать как стеганографическую модель.

Модель строится на основе следующих положений. Произвольное тайное сообщение M можно скрыть в контейнере C при использовании ключей K , где $M \in \mathbf{M}$, $C \in \mathbf{C}$; $K \in \mathbf{K}$. Результатом такого преобразования будет стегоконтейнер S , $S \in \mathbf{S} \{(M_1, C_1, K_1), (M_2, C_2, K_2), \dots, (M_x, C_x, K_x)\}$, $\mathbf{S} \in \{S_1, S_2, \dots, S_t\}$. Полагаем, что \mathbf{M} – множество скрываемых сообщений, $\mathbf{M} = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$, \mathbf{C} – множество контейнеров (в нашем случае – изображения), $\mathbf{C} = \{C_1, C_2, \dots, C_r\}$ ($r > n$), \mathbf{K} – множество всех ключей, $\mathbf{K} = \{K_1, K_2, \dots, K_a\}$ [3]. Так как контейнер является изображением (набором пикселей), то $C = \{(j, k) \mid 1 \leq j \leq y, 1 \leq k \leq z\}$, где z – ширина C в пикселях, y – высота C в пикселях.

Формально процесс встраивания (осаждения) тайных сообщений M , с помощью которого, в частности, можно решать задачу защиты авторского права на контент, содержащийся в документах из множества C , можно описать как отображение F :

$$F: \mathbf{M} \times \mathbf{C} \times \mathbf{K} \rightarrow \mathbf{S}. \quad (1)$$

Процесс извлечения M из стегоконтейнеров S описывается функцией, обратной к F :

$$F^{-1}: \mathbf{S} \times \mathbf{K} \rightarrow \mathbf{M}, \mathbf{C}. \quad (2)$$

Таким образом стеганографическая система определяется как:

$$SF = (SC, C, M, K, F, F^{-1}), \quad (3)$$

где SC – стеганографический канал

$$F: C \rightarrow SC. \quad (4)$$

Множество всех ключей \mathbf{K} можно представить семейством множеств $\mathbf{K}_Г$ и $\mathbf{K}_П$: $\mathbf{K} = \{\mathbf{K}_Г, \mathbf{K}_П\}$. Таким образом $\mathbf{K}_Г$ – множество ключей для генерации сообщения (параметры, связанные с выбором способа внедрения сообщения в контейнер, параметры шифрования или сжатия сообщения, уникальные идентификаторы для аутентификации и авторизации доступа к сообщению и т.д.), $\mathbf{K}_Г = \{K_{Г1}, K_{Г2}, \dots, K_{Гt}\}$, а $\mathbf{K}_П$ – множество ключей для методов внедрения сообщения (параметры для изменения цвета, или других свойств для встраивания информации в контейнер, уровни компрессии или шифрования, применяемые к модифицированному контейнеру, цветовые преобразования или методы, используемые для внедрения информации в изображение и т.д.), $\mathbf{K}_П = \{K_{П1}, K_{П2}, \dots, K_{Пg}\}$.

Следственно, функции F и F^{-1} , могут быть представлены:

$$F: M \times C \times K_2 \times Kn \rightarrow S. \quad (5)$$

$$F^{-1}: S \times K_2 \times Kn \rightarrow M, C. \quad (6)$$

Ввиду того, что модель может быть реализована различными методами, использующими различные алгоритмы выбора пикселей для внедрения, необходимо учитывать это при описании модели. Пусть F_E – набор функций, реализующих выбор пикселей для стеганографического преобразования из контейнера C при использовании ключевой информации:

$$F_E: C \times K_2 \times Kn \rightarrow Z, \quad (7)$$

где Z – множество пикселей, используемых непосредственно для стеганографического преобразования, $Z = \{ Z_1, Z_2, \dots, Z_q \}$, причем $q \geq n$.

Кроме того, различные методы могут применять разбиение скрываемого сообщения M на блоки. Пусть W – набор функций для разбиения сообщения на блоки:

$$F_W: M \times C \times K_2 \times Kn \rightarrow M, \quad (8)$$

где M^* – множество сообщений, состоящих из блоков, определяемых преобразованием F_W .

Таким образом стеганографическая система определяется как:

$$SF = (SC, C, M^*, K, F, F^{-1}, F_E, F_W), \quad (9)$$

где $K = \{K_r, K_n\}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урбанович, П.П. Защита информации методами криптографии, стеганографии и обфускации: учеб.-метод. пособие / П.П. Урбанович. – Минск: БГТУ, 2016. – 220 с.
2. Генне, О.В. Основные положения стеганографии // Защита информации. Конфидент. – 2000. – № 3. – С.20–24.
3. Шутько, Н.П. Математическая модель системы текстовой стеганографии на основе модификации пространственных и цветовых параметров символов текста / Н.П. Шутько, Д.М. Романенко, П.П. Урбанович // Труды БГТУ. Сер. VI: Физ.-мат. науки и информатика. – 2015. – № 6. – С. 152–156.

ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЛАЧНОЙ ЭЦП

Первое упоминание термина «электронная цифровая подпись» было сделано в 1976 году криптографами Уитфилдом Диффи и Мартином Хеллманом.

В дальнейшем получили распространение стандарты электронной цифровой подписи (далее – ЭЦП) на схемах Эль-Гамала (стандарты DSA в США и ГОСТ Р 34.10-94 в России) и Шнора (стандарт СТБ 1176.2-99 в Республики Беларусь и KCDSA, EC-KCDSA в Южной Корее) которые представляли из себя криптосистемы с открытым ключом, основанные на трудности вычисления дискретных логарифмов в конечном поле.

В настоящее время в качестве алгоритмов ЭЦП применяются ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm) – алгоритм с открытым ключом, использующийся для построения и проверки ЭЦП при помощи криптографии на эллиптических кривых. В Республике Беларусь это стандарт СТБ 34.101.45-2013.

По основному функциональному назначению алгоритм ЭЦП предназначен для контроля целостности и подлинности электронных документов. При выработке подписи используется личный ключ, который находится в распоряжении владельца.

Для придания юридической значимости ЭЦП в Республике Беларусь в 2009 году был принят Закон «Об электронном документе и электронной цифровой подписи» (далее – Закон), в который вносились изменения и дополнения, расширяющие правовое поле в этой области, приравняв ЭЦП к аналогу собственноручной подписи.

В Законе термин «электронная цифровая подпись» определен как последовательность символов, являющаяся реквизитом электронного документа и предназначенная для подтверждения его целостности и подлинности, а также для иных целей [2]. ЭЦП признана аналогом собственноручной подписи.

Для практического использования ЭЦП и создания юридически значимых электронных документов в РБ создана Государственная система управления открытыми ключами (ГосСУОК), определяющая технологию использования ЭЦП.

ГосСУОК предназначена для обеспечения возможности получения всеми заинтересованными организациями и физическими лицами

информации об открытых ключах и их владельцах в Республике Беларусь и представляет собой систему взаимосвязанных и аккредитованных в ней поставщиков услуг.

ГосСУОК строится как иерархическая инфраструктура открытых ключей и состоит из корневого удостоверяющего центра, подчиненного ему республиканского удостоверяющего центра и регистрационных центров.

Основные компоненты ГосСУОК:

- регистрационный центр;
- удостоверяющий центр;
- центр атрибутивных сертификатов.

ГосСУОК осуществляет распространение открытых ключей в виде сертификатов.

Конечными пользователями ГосСУОК выступают физические лица и организации, которые являются владельцами сертификатов, атрибутивных сертификатов и (или) доверяющими сторонами [3].

Корневой удостоверяющий центр является базовым компонентом ГосСУОК и занимает высшее положение в единой иерархической инфраструктуре доверия открытых ключей, реализуемой ГосСУОК.

Порядок функционирования корневого удостоверяющего центра и процедура издания самоподписанного сертификата определяются политикой применения сертификатов.

Владельцем сертификата является организация или физическое лицо, являющееся владельцем личного ключа, на базе которого выработан открытый ключ, значение которого включено в этот сертификат.

На основании сертификатов физических лиц, работающих в государственных органах и других государственных организациях, а также иных физических лиц центр атрибутивных сертификатов издает атрибутивные сертификаты в соответствии с политикой применения вышеупомянутых сертификатов. В атрибутивных сертификатах содержится информация о полномочиях таких физических лиц.

Доверяющие стороны могут запрашивать в республиканском удостоверяющем центре сертификаты и атрибутивные сертификаты любого пользователя ГосСУОК и использовать их для проверки электронной цифровой подписи электронного документа. Перед установлением доверия к электронному документу доверяющие стороны обязаны:

- убедиться в действительности сертификата и атрибутивного сертификата, включая их проверку на отзыв или истечение срока действия;

– удостовериться, что в атрибутном сертификате содержится информация о полномочиях физического лица на подписание электронного документа определенного типа.

В качестве носителя личного ключа ЭЦП пользователя используются аппаратные средства трех видов: специальный USB-token, специализированная SIM-карта, ID-карта гражданина РФ. Однако данные носители личного ключа имеет ряд недостатков.

Для USB-токена:

– наличие адаптированного программного обеспечения только для ОС Windows;

– невозможность применения с рядом мобильных систем (iOS);

– дополнительные затраты на приобретение;

– возможность выхода из строя.

Для специализированной SIM-карты:

– невозможность автономного применения;

– зависимость от оператора сотовой связи и иных информационных систем;

– дополнительные затраты на приобретение;

– возможность выхода из строя.

Для ID-карты гражданина РФ:

– невозможность применения с рядом мобильных устройств, не имеющих NFC;

– дополнительные затраты на приобретение ридера смарт-карт;

– возможность выхода из строя.

В любом случае пользователю необходимо иметь некоторое устройство, используемое в качестве носителя личного ключа ЭЦП.

Новое решение, позволяющее отказаться от наличие индивидуального устройства хранения личного ключа – это переход к использованию технологии облачной ЭЦП.

Главное отличие технологии облачной ЭЦП от традиционной является место хранения личного ключа пользователя и выполнение криптографической операции выработки ЭЦП. При построении инфраструктуры облачной ЭЦП таким местом является HSM (hardware security module) – аппаратный модуль безопасности, схема которого представлена на рис. 1.

Базовые HSM являются корнем доверия, который защищает инфраструктуру открытых ключей от взлома, позволяя создавать ключи на протяжении всего жизненного цикла инфраструктуры, а также обеспечивая масштабируемость всей архитектуры безопасности.

Внедрение и роль HSM становится основополагающей. HSM выполняет роль аппаратного устройства, которое защищает все криптографические процессы путем создания, управления и защиты ключей.

чей, используемых для шифрования и дешифрования конфиденциальных данных, критически важных для информации и безопасности большинства организаций.



Рисунок 1 – Схема аппаратного модуля безопасности HSM

Однако для безопасного использования технологии облачной ЭЦП недостаточно одного HSM. Необходимо выстроить инфраструктуру с дополнительными элементами. Инфраструктура облачной ЭЦП представлена на рис. 2. HSM на приведенном рисунке выполняет роль «Устройство создания подписи».



Рисунок 2 – Инфраструктура облачной ЭЦП

В инфраструктуру облачной подписи (ИОП) входят следующие компоненты:

1. Сервер подписи (СП) состоит:
 - приложение сервера подписи (ПСП);

- модуль активации подписи (МАП);
- устройства создания подписи (УСП);
- 2. Приложение создания документов (ПСД);
- 3. Сервер идентификации (СИ);
- 4. Клиентское приложение (КП);
- 5. Внешние компоненты, с которыми взаимодействует ИОП:
 - регистрационный центр (РЦ);
 - удостоверяющий центр (УЦ);
 - служба штампа времени (СШВ) и онлайн проверки статуса сертификатов (OCSP).

Сервис цифровой подписи – это масштабируемая платформа с поддержкой API для выработки цифровых подписей, которая обеспечивает:

1. Цифровую подпись хэша любого документа или цифровую транзакцию в настройке инфраструктуры открытых ключей;
2. Выдачу сертификата подписи;
3. Поддержку мировых доверенных служб (AATL и Microsoft Root);
4. Хранение приватных ключей на базе HSM;
5. Проверку отзыва, требуемого для аудита;
6. Продвинутое электронные печати и после аккредитации квалифицированные подписи, соответствующие стандарту стран Евросоюза (eIDAS).

Эксперты заявляют, что информация, хранящаяся на облачном сервере, лучше защищена и исключает доступ третьих лиц.

Это объясняется тем, что носитель, где содержится сертификат с паролями, у владельца можно запросто украсть и подписать за него электронный документ. Следовательно, пользователь должен надёжно хранить свой токен, и так бывает не всегда.

К преимуществам облачной ЭЦП можно отнести:

1. Удаленное применение;
2. Отсутствие рисков потери или повреждения физического носителя;
3. Высокая степень защиты;
4. Стоимость ниже традиционной ЭП;
5. Быстрое получение;

Правообладатель ЭЦП – удостоверяющий центр. Эта организация несёт ответственность за сохранность и неприкосновенность электронного ключа, а не то лицо, на кого оформлен сертификат облачной цифровой подписи.

Электронную цифровую подпись имеет право получить:

1. Должностное лицо в компании, которое будет использовать ее для выполнения своих должностных обязанностей.

2. Индивидуальный предприниматель для ведения отчетности по своей деятельности.

3. Физическое лицо, которое может использовать ЭЦП в личных целях.

В зависимости от собственного статуса, владелец ЭЦП может использовать ее в различных целях. К примеру, ИП или юрлицо может:

1. Подавать налоговые декларации

2. Платить налоги и получать информацию обо всех задолженностях и переплатах

3. Отправлять отчеты в ФФЗН, Белгосстрах, Белстат и другие госорганы

4. Работать с электронными счет-фактурами

Физические лица могут использовать ЭЦП при подписании договоров на оказание услуг, договоров кредитования, страхования, а также крупных сделках купли-продажи.

Однако пока подобная услуга не стала популярной. ЭЦП используют в основном компании и ИП.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТБ 34.101.45-2013 Информационные технологии и безопасность. Алгоритмы электронной цифровой подписи и транспорта ключа на основе эллиптических кривых. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arpmi.bsu.by/resources/std.html>. – Дата доступа: 25.01.2024.

2. Закон Республики Беларусь от 28 декабря 2009 г. № 113-З «Об электронном документе и электронной цифровой подписи». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=h10900113>. – Дата доступа: 28.01.2024.

3. Регламент деятельности республиканского удостоверяющего центра Государственной системы управления открытыми ключами проверки электронной цифровой подписи Республики Беларусь республиканского унитарного предприятия «Национальный центр электронных услуг» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://nces.by/wp-content/uploads/reglament-rc-ruc.pdf>. – Дата доступа: 29.01.2024.

КОНТРОЛЬ ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТЕЙ МАТЕРИАЛОВ ПЕЧАТНОГО КОНТАКТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Основными способами производства печатной продукции являются офсетная и флексографская печати. Технология офсетной печати заключается в передаче изображения с печатной формы на офсетное резиноканевое полотно, а затем на запечатываемый материал. Развитие офсетной печати обусловлено внедрением автоматизированного цифрового оборудования и программного обеспечения, включаемого в систему управления и контроля производственного процесса. В настоящее время сохраняется тенденция использования офсетного способа плоской печати для изготовления разнообразной полиграфической продукции благодаря своим преимуществам. Достоинством офсетной печати является возможность изготавливать печатную продукцию крупными тиражами, широкий ассортимент запечатываемого материала, высокое качество оттиска. Флексографская печать преимущественно используется для изготовления упаковки.

Следует отметить, что исследования по совершенствованию данных способов печати ориентированы на повышение качества полиграфической продукции. Износ печатающих элементов печатных форм, потеря упругоэластичных свойств офсетным полотном, изменение его поверхностной структуры неизбежно приводят к снижению качества оттисков.

Целью работы является разработка методики контроля износа поверхностей материалов печатного контакта на основе анализа готовой продукции в офсетной технологии печати.

В процессе печати наблюдается эффект растискивания, который заключается в увеличении размеров растровых точек на оттиске по сравнению с их размерами на печатной форме, которое приводит к увеличению относительной площади растровых элементов и соответственно к увеличению оптической плотности отпечатанного изображения. Растискивание включает не только механическое, но и оптическое увеличение размера растровых точек.

Механическое растискивание обусловлено тем, что краска переносится с формы на офсетное полотно и потом на бумагу под давлением. Величина механического растискивания зависит от настройки печатной машины и ее технического состояния, вязкости краски и ее

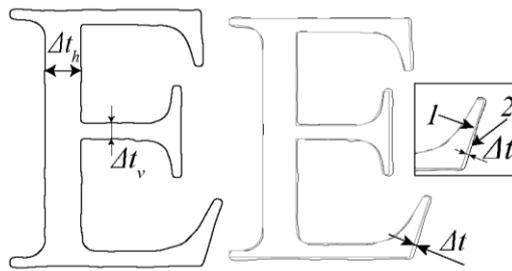
количества на печатной форме, упругих свойств офсетного полотна, характеристик поверхности бумаги. Причиной оптического растискивания являются поглощение и рассеяние света в бумаге [1].

Контроль качества полиграфической продукции осуществляется с помощью визуального контроля, а также применяются такие инструменты как денситометры, колориметры, спектрофотометры, спектроденситометры и приборы, оснащенные CCD-камерой высокого разрешения. Для контроля изменений оптического растискивания используются приборы денситометры, а механического растискивания можно использовать приборы, оснащенные CCD-камерой.

В основном приборы, оснащенные CCD-камерой, используются для контроля печатных форм посредством получения фото высокого разрешения, анализируя которые можно рассчитывать соотношение между площадями печатающих и пробельных элементов на печатных формах офсетного и флексографского способов печати. При разработке методики контроля износа поверхностей материалов печатного контакта на основе анализа готовой продукции в офсетной технологии печати был использован метод цифровой микроскопии, позволяющий также получать фото высокого разрешения. Разработанная методика заключается в фиксировании изменении размеров печатных элементов на оттисках по сравнению с исходными размерами печатных элементов на печатной форме. Схема методики контроля износа поверхностей материалов печатного контакта на основе готовой продукции представлена на рис. 1.

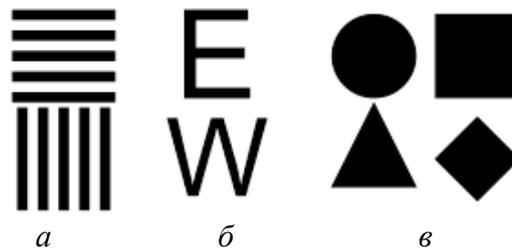
Методика контроля износа поверхностей материалов печатного контакта на основе готовой продукции заключается в получении контура печатных элементов на печатной форме и печатных оттисках с помощью разработанного программного обеспечения, представленного в работе [2] и проведение сравнительного анализа отклонений размеров контура, которые возникают в процессе печати на оттисках. Исходными значениями размеров Δt_h , Δt_v являются размеры, которые снимаются с печатной формы.

Для использования представленной методики можно использовать элементы шкал оперативного контроля в виде горизонтальных и вертикальных линий, а также текст, содержащий характерные штриховые элементы, и геометрические фигуры. Предлагаемые элементы для контроля качества печати готовой полиграфической продукции представлены на рис. 2.



1 – контур печатных элементов на форме; 2 – контур печатных элементов на оттиске; Δt_h – отклонение размеров печатных элементов по горизонтали; Δt_v – отклонение размеров печатных элементов по вертикали; Δt – отклонение размеров по контуру печатных элементов

Рисунок 1 – Схема методики контроля износа поверхностей материалов печатного контакта на основе готовой продукции



a – горизонтальные и вертикальные штриховые элементы,
 b – текстовые элементы, v – геометрические элементы

Рисунок 2 – Элементы для контроля износа поверхностей материалов печатного контакта

Использование представленных элементов для контроля готовой продукции позволяет установить растискивание в различных направлениях при прохождении печатного листа через печатную машину.

Таким образом, предлагаемая методика контроля износа поверхностей материалов печатного контакта на основе анализа готовой продукции позволяет осуществлять контроль механического растискивания и выявлять стадию усиленного износа, после начала которой печатный процесс должен быть остановлен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самарин, Ю.Н. Точка, точка... и еще раз точка // Компьютер. – 2011. – № 10. – С. 25–28.

2. Барковский, Е.В. Средства для онлайн анализа поверхностей печатного контакта в системе управления полиграфическим производством / Е.В. Барковский, Г.Г. Петров // Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС: сб. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2023» в 3 т. Минск, 06–08 декабря 2023 г. [Электронный ресурс]. – Минск: БГТУ, 2023. – Т. 1. – С 59–63.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ТЕКСТОВОЙ СТЕГАНОГРАФИИ НА ОСНОВЕ МОДИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ

Текстовая стеганография является одним из направлений исследований и разработок, которая позволяет достаточно эффективно решать проблему тайной передачи или хранения информации.

Стеганография – это наука о скрытом передаче сообщений, которая отличается от криптографии, где целью является скрыть содержание сообщения. Вместо того чтобы зашифровывать сообщение, стеганография скрывает сам факт передачи сообщения [1].

Виды стеганографии делятся на следующие:

– скрытые сообщения в изображениях: в этих методах данные встраиваются в изображения, часто изменяя малозаметные детали, такие как младшие биты цветовых компонентов;

– скрытые сообщения в звуке: звуковые файлы могут содержать дополнительную информацию, скрытую в некоторых изменениях амплитуды или частоты;

– скрытые сообщения в тексте: текстовые документы могут содержать скрытые сообщения путем использования специальных символов, стеганографических алгоритмов или даже изменения форматирования текста;

– скрытые сообщения в видео: видеофайлы могут также содержать скрытую информацию, которая может быть встроена в видеопоток или изменена в аспектах кадра;

– скрытые сообщения в сетевом трафике: в сетевом трафике, таком как Интернет или локальные сети, данные могут быть скрыты путем изменения порядка передачи или внедрения скрытых сообщений в пакеты данных;

– физические методы стеганографии: это может включать использование невидимого чернила, нанесение сообщений на материалы специальным образом или даже встраивание микрочастиц в объекты;

– скрытые сообщения в файловых системах: скрытые сообщения могут быть встроены в файловые системы, путем изменения структуры файлов или использования областей файлов.

Методы текстовой стеганографии могут быть разделены на несколько категорий в зависимости от того, как именно текст используется для скрытия сообщений. Вот некоторые из наиболее распространенных методов [2]:

– изменение форматирования текста: скрытые сообщения могут быть встроены в текст путем изменения форматирования, такого как изменение размера шрифта, цвета или стиля текста. Например, изменение цвета фона или текста может быть использовано для кодирования скрытой информации;

– использование скрытых символов: в тексте могут быть использованы специальные символы или комбинации символов, которые не будут замечены при первом взгляде, но которые могут быть интерпретированы как скрытые сообщения, когда применяется соответствующий алгоритм;

– изменение порядка слов или букв: скрытые сообщения могут быть встроены в текст путем изменения порядка слов или букв;

– использование невидимого текста: некоторые методы стеганографии могут использовать невидимый текст, который не будет виден при обычном просмотре документа, но может быть раскрыт с помощью специальных инструментов или процедур;

– изменение структуры текста: скрытые сообщения могут быть встроены в текст, изменяя его структуру, такую как вставка дополнительных пробелов, символов или изменение интервалов между словами.

Для исследования влияния модификации параметров на различные свойства документа-контейнера были выбраны следующие методы текстовой стеганографии:

– метод изменения регистра символов (увеличение/уменьшение размера шрифта);

– метод добавления хвостовых пробелов (увеличение количества пробелов);

– знаки одинакового начертания (изменение символов кириллицы на символы латиницы одинакового начертания и наоборот);

– использование синонимов (использование словаря синонимов);

– опечатки в тексте;

– метод форматирования (изменение значений цвета и гарнитуры шрифта);

– метод добавления контура к символам текста (изменение цвета, прозрачности и ширины контура) [3];

– метод использования скрытых символов (использование символов конца строки и разрыва строки, пробела и неразрывного пробела).

Также для исследования были определены следующие показатели документа-контейнера, на которые неким образом будут влиять изменения в параметрах метода: размер стегоконтейнера, незаметность, емкость встраивания. Влияние модификаций на свойства контейнера представлены в таблице.

Таблица – Влияние модификаций на свойства контейнера

Метод	Размер стегоконтейнера	Незаметность	Емкость встраивания
Метод изменения регистра символов	Увеличивается	Чем больше молуль приращения (Δ), тем заметнее	Не меняется
Знаки одинакового начертания	Значительно увеличивается	В зависимости от поддержки кириллицы в шрифте	Зависит от количества схожих букв разных алфавитов в тексте-контейнере
Использование синонимов	Изменяется в зависимости от количества символов в новом слове	В зависимости от количества замененных слов	Зависит от объема словаря синонимов
Модификация цвета	Увеличивается при изменении стандартного цвета текста	Чем больше молуль приращения (Δ) значений отдельных каналов, тем заметнее	Не изменяется
Модификация шрифта	Изменяется в зависимости от размера шрифта	В зависимости от коэффициента схожести начертания символов	Зависит от количества символов. где схожесть начертания в разных шрифтах максимально
Метод использования скрытых символов	Уменьшается	Не зависит. за исключением одного случая	Зависит от применения невидимого символа
Метод добавления контура к символам текста	Увеличивается незначительно	Чем больше молуль приращения (Δ), тем заметнее	Не изменяется

Таким образом, в ходе исследования было выявлено, что такие свойства документа-контейнера, как стегоустойчивость и пропускная способность, не зависят от модификации значений параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урбанович, П.П. Защита информации методами криптографии, стеганографии и обфускации: учеб.-метод. пособие / П.П. Урбанович – Минск: БГТУ, 2016. – 220 с.
2. Конахович, Г.В. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г.В. Конахович, А.Ю. Пузыренко. – К.: МК-Пресс, 2006. – 288 с.
3. Нистюк, О.А. Метод и математическая модель стеганографического преобразования информации на основе модификации контура символов текста-контейнера / О.А. Нистюк, П.П. Урбанович // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. – 2022. – № 2 (260). – С. 92–98.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СЕТЕВОЙ СТЕГАНОГРАФИИ НА ОСНОВЕ МОДИФИКАЦИИ ПАКЕТОВ

Согласно сетевой модели передачи данных TCP/IP, информация по сети передается в четыре этапа, которые принято называть уровнями. Каждый из них описывается разнообразным количеством правил, которые называются протоколами. Наборы протоколов, решающих задачу по передаче данных, составляют стек протоколов передачи данных, на которых базируется Интернет, а название происходит из двух важнейших протоколов семейства – Transmission Control Protocol (TCP) и Internet Protocol (IP), которые были первыми разработаны и описаны в данном стандарте.

Эта модель развивалась несколько десятков лет и представляет собой систему колоссального масштаба. За это время были найдены и устранены многие уязвимости, тем не менее, сами элементы протоколов и их способы взаимодействия обладают избыточностью, следовательно, могут использоваться как контейнер для методов скрытой передачи информации.

Реализация этих протоколов осуществляется на уровне ядра операционной системы, поэтому изменение концепции передачи данных от одного уровня к другому представляет весьма трудную задачу. Тем не менее существует большое количество способов спрятать данные в элементах, которые они передают.

Сообщение, формируемое пользователем, перед передачей делится на некоторые порции, называемые *пакетами*. Размер и структура пакетов определяются протоколом передачи, поэтому они будут уникальны для каждого протокола. В основном в сетевой стеганографии методы меняют сам пакет или структуру передачи пакетов, например, изменяются очередности их передачи.

Методы, изменяющие пакет, в основном делятся на:

- методы изменяющие данные в полях заголовков протокола;
- методы модификации полезной нагрузки пакета; в этом случае применяются всевозможные алгоритмы водяных знаков, речевых кодеков и прочих стеганографических техник по скрытию данных;
- и смешанные техники [1].

Для каждого протокола определен свой уникальный набор полей, однако выделяют блоки, состоящие из *служебной информации*, которая может быть размещена как в начале, так и в конце пакета (за-

головки и т.д.) и *полезной нагрузки пакета*. Аналогично этому разбиению и принято делить методы сетевой стеганографии [2].

Примеров использования заголовков пакетов в качестве контейнера много в виду уникальности строения пакетов. Однако для каждого протокола исследователи действовали примерно по одному и тому же принципу: размещать информацию там, где она при каких-либо условиях не используется.

Например, рассмотрим протокол IP. IP объединяет сегменты сети в единую сеть, обеспечивая доставку пакетов данных между любыми узлами сети через произвольное число промежуточных. IP не гарантирует надёжной доставки пакета до адресата. Возможно также возникновение ситуации, когда размер пакета превысит возможности узла системы связи. Для таких случаев протокол предусматривает возможность дробления пакета на уровне IP в процессе доставки. Соответственно, к конечному получателю пакет придет в виде нескольких пакетов, которые необходимо собрать в один перед дальнейшим анализом. Возможность дробления пакета с последующей сборкой называется *фрагментацией*.

Ниже представлены методы, которые используют поля заголовков IP-пакета в качестве стеганоконтейнера:

1. В заголовке IP-пакета есть байт типа обслуживания (*Type of Service*), из которых два младших бита не используются в текущей реализации. Эти биты могут использоваться для хранения дополнительной информации.

2. DF (*Don'tFragment*) – модификация полей «*identification*», «*flags*» и «*fragmentoffset*».

Значение поля «*identification*» IP-пакета генерируется на стороне отправителя. Это число содержит случайный номер. Поле используется только при использовании фрагментации. При отсутствии необходимости фрагментации пакета, определенная избыточность возникает в поле «*flags*», во втором бите, отвечающем за установку флага *Don'tFragment* (DF). Существует возможность указать флаг, уведомляющий о нежелании отправителя фрагментировать пакет. Если пакет со стеганограммой не будет фрагментирован из-за его размера, можно скрыть информацию в поле флага *DoNotFragmentBit*.

3. Метод опций.

Поле опций является необязательным, а их поддержка должна реализоваться во всех модулях IP. Существует 8 различных опций, из которых лишь одна пригодна для передачи тайного сообщения. Это опция *Internet Timestamp* – временной штамп в миллисекундах (относительно полуночи по Единному Времени). Если время в миллисекун-

дах неопределимо или не может быть отсчитано относительно полуночи по Единному Времени, то может быть внесено любое другое время при условии, что самый старший бит в поле временного штампа будет установлен в единицу (что указывает на использование нестандартного значения и дает некоторую свободу в заполнении данного поля) [3].

4. Поле «padding» используется как наполнитель, для того чтобы выровнять размерность пакета, поэтому данное поле можно использовать в качестве стеганоконтейнера [4].

Теперь рассмотрим методы изменения полезной нагрузки пакета:

1. ICMP-инкапсуляция (Процесс помещения информации в пакет, который затем сам помещается в другой пакет протокола нижележащего уровня, называется *инкапсуляцией*) [5].

ICMP (Internet Control Message Protocol) предназначен для рассылки сообщений об ошибках и других исключительных ситуациях, а также проверки связи, трассировки маршрутов и многого другого. Для современного сетевого оборудования и операционных систем, использующих стек TCP/IP, поддержка протокола ICMP обязательна. Периодическая рассылка ICMP-сообщений узлами сети, которая происходит при обнаружении ошибок в IP-адресах пакетов, отсутствии маршрутов к запрашиваемым сетям и многих других случаях, приводит к большому числу ICMP-пакетов, содержащих служебную сетевую информацию, среди которых можно скрыть пакеты с какой-либо другой информацией.

2. Метод сетевой стеганографии, предназначенный для скрытия сообщений VoIP, называется *Transcoding Steganography* – метод сетевой стеганографии со сжатием полезной нагрузки сетевого пакета за счёт перекодирования. Сжатие данных используется, чтобы освободить место под стеганограмму: происходит перекодировка голосовых данных и после сжатия сообщение внедряется в освободившееся место в области полезной нагрузки пакета.

3. Метод изменения содержимого SCTP-пакетов, который основан том, что каждый STCP-пакет состоит из некоторых частей, и каждая из этих частей может содержать переменные параметры, которые можно использовать в качестве носителя информации [2].

Основные параметры сетевой стеганографии – это пропускная способность скрытого канала, вероятность обнаружения и стеганографическая стоимость. В соответствии с этими параметрами была составлена таблица, в которой сравниваются представленные выше методы. Чем выше отображен метод в таблице, тем больше показатели его характеристик.

Таблица – Сравнение методов

№	Пропускная способность стеганографии	Сложность обнаружения	Стоимость стеганографии	Реализация
1	ICMP-инкапсуляция	Transcoding Steganography	ICMP-инкапсуляция	Модификация полей в заголовках пакетов
2	Transcoding Steganography	ICMP-инкапсуляция	Transcoding Steganography	ICMP-инкапсуляция
3	Модификация полей в заголовках пакетов	Модификация полей в заголовках пакетов	Модификация блоков данных в SCTP протоколах	Модификация блоков данных в SCTP протоколах
4	Модификация блоков данных в SCTP протоколах	Модификация блоков данных в SCTP протоколах	Модификация полей в заголовках TCP и IP пакетов	Transcoding Steganography

В результате исследования было выявлено, что модификация полезной нагрузки пакетов дает большую пропускную способность и сложность обнаружения, тем не менее такие методы более сложны в реализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zander, S. A Survey of Convert Channels and Countermeasures in Computer Network Protocol / S. Zander, G. Armitage, P. Branch // IEEE Communications Surveys & Tutorials – 2007. – V.9. – № 3. – P. 44–57.
2. Применения сетевой стеганографии для скрытия данных, передаваемых по каналам связи / О.Ю. Пескова, Ю. Г. Халабурда // Известия ЮФУ. Технические науки – 2012.
3. Handel, T., Sandford, M. Hiding data in the OSI network model / T. Handel, M. Sandford // In Proceedings of The First International Workshop on Information Hiding – 1996. – P. 23–38.
4. Jankowski, B. PadSteg: Introducing inter-Protocol Steganography / B. Jankowski, W. Mazurczyk, K. Szczypiorski // Telecommunication Systems – 2011. – V. 52. – № 2. – P. 1101–1111.
5. Сетевая стеганография на основе ICMP-инкапсуляции / В.В. Галушка, С.Б. Петренкова, Я.В. Дзюба, В.А. Панченко // Инженерный вестник Дона – 2018. – № 4.

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕКУЩЕЙ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

Сегодня учреждения образования часто применяют веб-приложения для оценки успеваемости студентов. Существует множество таких веб-приложений, и все они обладают несколькими общими функциями. В первую очередь, такие приложения предоставляют доступ к информации о текущих и итоговых оценках, посещаемости и успехах студентов, благодаря чему студенты и преподаватели могут отслеживать ход обучения и своевременно реагировать на пробелы в знаниях. Кроме того, некоторые веб-приложения могут предоставлять дополнительные материалы для обучения, такие как конспекты лекций, видеоуроки или тесты. Это помогает студентам углубить свои знания и подготовиться к экзаменам. Веб-приложения для оценки успеваемости студентов также могут иметь функцию обработки данных и составления отчетов. Это позволяет преподавателям и администрации университета получать общую информацию об успеваемости студентов, что помогает им принимать обоснованные решения в управлении учебным процессом.

Одним из главных преимуществ веб-приложений для оценки успеваемости студентов является их доступность. Они могут быть использованы на любом устройстве, включая мобильные, с доступом к сети Интернет, что позволяет студентам и преподавателям иметь доступ к необходимой информации в любое удобное для них время и в любом месте. Как правило, эти веб-приложения или разработаны в учреждениях образования под свой учебный процесс, или являются надстройкой над какой-либо зарубежной программной платформой.

Для реализации дистанционных образовательных технологий в Белорусском государственном технологическом университете применяется система дистанционного обучения на основе веб-приложения Moodle, в которой студенты могут получать доступ к учебным материалам и обратную связь с преподавателями [1], и веб-приложение Teams [2] с аналогичной функциональностью. Однако для своевременного отслеживания успеваемости студентов в случаях, когда лекции по учебной дисциплине проводит один преподаватель, а лабораторные занятия по этой же дисциплине – другой преподаватель, такие приложения неудобны. При этом становится затруднительным обмен информацией между преподавателями о текущей успеваемости сту-

дентов. Если же занятия проводятся одновременно для большого количества групп и дисциплин, то задача еще больше усложняется. Для решения задачи оперативного отслеживания текущей успеваемости студентов дневной формы обучения было разработано и находится в опытной эксплуатации разработанное на кафедре информационных систем и технологий веб-приложение, которое реализует основные задачи по учету успеваемости студентов в соответствии с сложившейся на кафедре практикой. Веб-приложение реализовано с использованием платформы ASP.NET и шаблона программирования MVC, и предоставляет отдельные интерфейсы для преподавателя, студента и администратора. Основные задачи, реализованные в текущей версии веб-приложения:

- предоставить преподавателям возможность управлять сведениями о текущей и итоговой успеваемости;
- предоставить преподавателям возможность управлять сведениями о посещаемости занятий;
- предоставить студентам краткий конспект лекций и список экзаменационных вопросов;
- предоставить студентам возможность закрепить знания с помощью обучающих тестов.

Главная страница в интерфейсе преподавателя показывает обобщенную информацию о группе по выбранному курсу, такую как состав группы и прогресс в обучении, как показано на рис. 1.

KIS23 Home Группы Занятия Нагрузка Тесты Рейтинг Конспект Экзамен Чат Посещаемость Privacy Hello [username]

Информация о выбранной группе:
[Переключиться на другую группу](#)
Курс:
 Операционные системы
Группа:
 ОС23-6

Список группы

Имя студента	Посещено лекций	Посещено лабораторных	Выполнено лабораторных	Выполнено тестов	Отвечено опросов	
Александр Иван	16	17	9	17	4	Подробнее
Владим Александр	16	15	9	17	3	Подробнее
Павел Александр	14	16	9	17	6	Подробнее
Иванов Иван	16	17	9	17	4	Подробнее

Рисунок 1 – Главная страница интерфейса преподавателя

Кроме того, преподаватель может просмотреть специальную страницу с детальной информацией о студенте, где отображается общая статистика, сведения об аттестациях, выполненных лабораторных работах, посещенных лабораторных занятиях, пройденных тестах и опросах, как показано на рис. 2.

KIS23 Home Группы Занятия Нагрузка Тесты Рейтинг Конспект Экзамен Чат Посещаемость Privacy Hello [Sign out](#)

Информация о студенте

Посещаемость лекций: **16**, лабораторных занятий: **17**

Выполнено лабораторных работ: **9**, тестов: **16**, опросов: **4**

Аттестации

Номер	Дата сдачи	Вид аттестации	Оценка	Преподаватель	Действия
1	27.10.2023	Аттестация 1	4	Савельева Маргарита	
2	08.12.2023	Аттестация 2	6	Савельева Маргарита	
3	20.01.2024	Оценка за экзамен	5	Пилинога Михаил	

Лабораторные работы

Номер	Тема	Показана	Защищена	Оценка	Кто принял	Действия
1	Работа в командной строке Windows	22.09.2023	22.09.2023	7	Савельева Маргарита	
2	Работа в командной строке Linux	06.10.2023	06.10.2023	7	Савельева Маргарита	
3	Процессы	20.10.2023	20.10.2023	6	Савельева Маргарита	

Рисунок 2 – Страница с информацией о текущей успеваемости студента

На отдельной странице преподавателю предоставляется возможность ввести информацию о посещаемости и выполненных лабораторных работах, выставить оценки студентам. Очень удобна функция автоматического расчета учебной нагрузки по преподавателю, как видно на рис. 3.

KIS23 Home Группы Занятия Нагрузка Тесты Рейтинг Конспект Экзамен Чат Посещаемость Privacy

Нагрузка для преподавателя: Пилинога Михаил

Месяц	Дисциплина	Лекции (план)	Практ. занятия (план)	Лаб. занятия (план)
9	ОС	8 (8)	0 (0)	2 (0)
10	ОС	10 (10)	0 (0)	0 (0)
11	ОС	8 (8)	0 (0)	0 (0)
12	ОС	6 (6)	0 (0)	0 (0)
12	СП	2 (0)	0 (0)	0 (0)
2	КИС	4 (14)	0 (0)	6 (28)
3	КИС	0 (10)	0 (0)	0 (18)
Всего:		38 (56)	0 (0)	8 (46)

Рис. 3. Отображение плановой и фактической учебной нагрузки

Учебные материалы сгруппированы по учебным дисциплинам и темам. Студенты могут получить доступ к списку тем, краткий конспект для каждой темы, список экзаменационных вопросов.

В веб-приложении реализован механизм тестирования. Тесты не служат для контроля знаний, а по сути являются продолжением обучения. Они бывают двух видов: опросы и собственно тесты. Опросы публикуются перед лекцией и призваны найти пробелы в знаниях студентах, необходимых для усвоения материала данной лекции. Также они могут содержать дополнительные вопросы для обратной связи об учебном процессе. Тесты побуждают студентов перечитать учебный

материал, поискать информацию в интернете, просто подумать или выполнить расчеты. Время ответа не ограничивается, интерфейс не блокируется. При современном темпе развития технологий способности к самостоятельному поиску знаний становятся важнее простого накопления информации, поэтому вопросы тестов часто включают исследовательские задания.

Для повышения мотивации студентов результаты тестов оцениваются в зависимости от количества правильных ответов и количества попыток, и веб-приложение публикует рейтинг студентов в группе по количеству выполненных тестов и средней оценке. Вопросы, на которые получено 100% правильных ответов, не участвуют в оценке, чтобы уменьшить вероятность копирования правильных ответов друг у друга.

Результаты опросов и тестов разбираются на лекциях, что позволяет больше времени уделить плохо усвоенному материалу.

В результате использования веб-приложения преподаватель во время экзамена своевременно может увидеть полную информацию об успеваемости студентов в течение семестра и дополнительно проработать вопросы в тестах, на которые даны неправильные ответы.

Таким образом, веб-приложения для оценки успеваемости студентов – это ценный инструмент, который помогает студентам и преподавателям улучшить качество учебного процесса и достичь лучших результатов. Благодаря им, студенты получают более четкое представление о своих знаниях и могут более эффективно работать над их улучшением, а преподаватели – имеют возможность более качественно проводить занятия и анализировать прогресс своих студентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. О применении системы дистанционного обучения для компьютерного тестирования знаний студентов по дисциплине «Физическая химия» / А.К. Болвако, Г.П. Дудчик // Труды БГТУ. Сер. VIII, Учеб.-метод. работа. – 2015. – № 8 (181). – С. 124–127.

2. Урбанович, П.П. Дистанционное обучение: тенденция, естественный процесс или вынужденная мера? / П.П. Урбанович, Е.А. Блинова, Н.В. Ржеутская // VIII Международная научно-техническая интернет-конференция «Информационные технологии в образовании, науке и производстве», 21-22 ноября 2020 года [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет; сост. Е.В. Кондратёнок. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 116–122.

МЕТОДЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАРКИРОВАННЫХ ТОЧЕЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Событием называется наличие объекта в некоторой рассматриваемой исследуемой области пространства. Следовательно, каждое событие можно рассматривать как точку в пространстве. В данной работе событиями являются деревья.

Если набор данных отражает информацию о размещении в пространстве площадных объектов, в нашем случае, деревьев, то эти данные могут быть представлены точками, как если бы площадные объекты были рассмотрены на плоскости. Следовательно, события могут располагаться на плоскости, то есть в двумерном пространстве, как представлено на рис. 1, так и в трёхмерном пространстве.

На рис. 1 представлен пример, когда могут быть использованы методы анализа точечных процессов. В данном примере местоположение дискретных объектов определяются точечным процессом, где в ходе исследования установлены координаты (x_i, y_i) всех объектов на рассматриваемой плоскости [1].

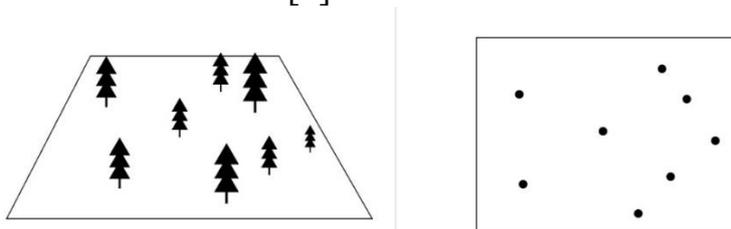


Рисунок 1 – Пример использования методов анализа точечных процессов

Пространственный точечный процесс X в исследуемой области S – это случайно счётное подмножество событий (точек) в исследуемой области S . Число событий и их местонахождения случайны и зависят от свойств процесса. Это понятие используется как математическая стохастическая модель.

Точечный паттерн или точечный образ x – это реализация точечного процесса или набора событий (x_1, x_2, \dots, x_n) , которые зафиксированы в исследуемой области S . Значение x_i соответствуют местоположению объекта, то есть его точке или i -го события и содержит информацию о его координатах. Количество точек $n = n(x)$ может быть любым неотрицательным числом. Также допускаются совпадающие точки.

Если x представляет собой точечный паттерн и B – это некоторый регион в S , то $x \cap B$ есть подмножество x , состоящее из точек, попадающих в B . Пример показан на рис. 2.

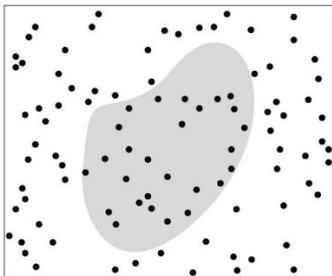


Рисунок 2 – Пример региона

В таком случае, количество точек, попадающих в регион B , равняется $n = n(x \cap B)$.

Конечным точечным процессом называется процесс, в котором область S ограничена, а любая реализация процесса X конечна.

Маркированным точечным образом называется набор событий, когда известна дополнительная информация, относящаяся к каждому событию. Представляется в виде набора вектором $\{(x_i, y_i; z_i)\}$, где z_i – это метка или марка события. Метки могут быть векторными и скалярными. Скалярными марками могут быть: возраст дерева, диаметр ствола, ширина кроны, породе и т. п., в зависимости от цели исследования.

Пример маркированного точечного образа показан на рис. 3, где представлен точечный образ размещения деревьев, где маркой является скалярная переменная – диаметр ствола.

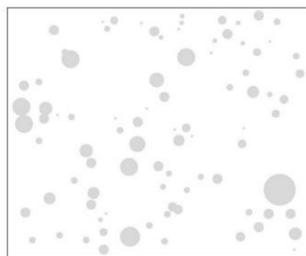


Рисунок 3 – Пример маркированного точечного образа

Таким образом, в общем случае точкам размещения отдельно стоящих деревьев с (x_i, y_i) координатами на плоскости для их последующей реализации ставятся в соответствие наборы характеристик (марок), векторы (z_i, \dots, z_m) , описывающие отдельное дерево. В результате будет получен математический объект, который называется маркированным точечным процессом на плоскости, где случайный вектор z_i , соответствующий точке с координатами (x_i, y_i) , является векторной маркой.

Данная работа ограничивается простейшим случаем, где точкам приписывается одна скалярная марка, когда $m = 1$ и этой маркой будет высота дерева, таким образом, рассматривается скалярный маркированный точечный процесс.

Одним из важнейших свойств всех явлений в природе является пространственная непрерывность, то есть взаимная зависимость (корреляций) для значений в точках, расположенных ближе к друг другу больше, чем разделённых большим расстоянием. Пространственная непрерывность пространственно распределённых данных обычно описывается при помощи корреляционных функций, ковариационных функций, полувариограмм и других мер пространственной корреляции.

В качестве функции, которая отражает пространственную коррелированность марок выбрана полувариограмма $\gamma(r)$, которая будет зависеть от расстояния между рассматриваемыми точками, так как она проста в использовании и широко используется для описания пространственной корреляционной структуры. Таким образом полувариограмма – это вариация разницы значений переменной в двух точках как функция от расстояния между ними.

Полувариограмма $\gamma(r)$ определяется как половина дисперсии разности между двумя точками маркированного точечного процесса, находящиеся друг от друга на расстоянии r . Описывается формулой:

$$\gamma(r) = \frac{1}{2}D[z_i - z_j] = \frac{1}{2}E\{[z_i - z_j]^2\}. \quad (1)$$

Полувариограмма вычисляется путём суммирования квадратов разностей значений марок по всем парам точек, расстояние между которыми примерно равно и находится в интервале $(r, r + dr)$. В таком случае значение полувариограммы описывается по формуле:

$$\gamma(r) = \frac{1}{2n_r} \sum_{i,j} (z_i - z_j)^2 \quad (2)$$

Обычно выделяют следующие типы полувариограмм: непрерывный, эффект самородков, линейный и случайный [2].

Непрерывный тип полувариограммы характеризует непрерывные пространственные переменные, показан на рис. 4.

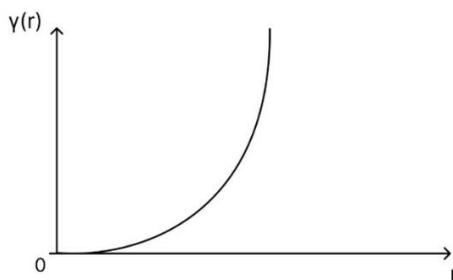


Рисунок 4 – Непрерывный тип полувариограммы

Линейный тип полувариограммы также характеризует непрерывные пространственные переменные, но менее регулярные, чем в непрерывном типе, показан на рис. 5.

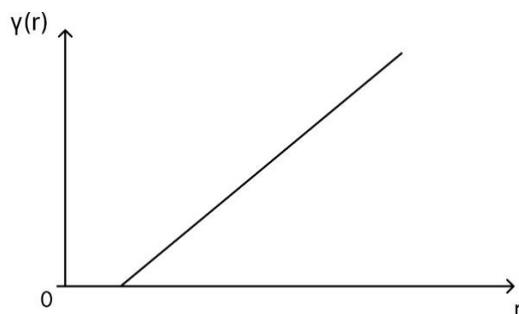


Рисунок 5 – Линейный тип полувариограммы

Эффект самородков – это такой тип полувариограммы, в котором полувариограмма в очень узкой зоне на малых расстояниях резко возрастает от нулевого значения до некоторого уровня, после чего изменения полувариограммы приобретает более плавный вид. Также свидетельствует о снижении конкуренции между деревьями. Эффект самородков показан на рис. 6.

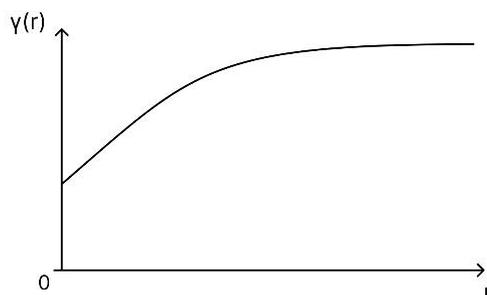


Рисунок 6 – Тип полувариограммы – эффект самородков

Случайный тип полувариограммы характеризует независимость значений переменной (марок) от значений в окружающих точках. Такой тип полувариограммы представлен на рис. 7.

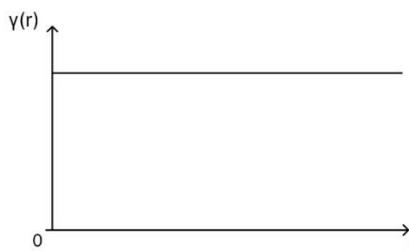


Рисунок 7 – Случайный тип полувариограммы

Синусоидальный тип полувариограммы отображает, что вблизи нуля значение полувариограммы достаточно большое, и свидетельствует о том, что в фитоценозе происходит конкуренция между деревьями. Синусоидальный тип показан на рис. 8.

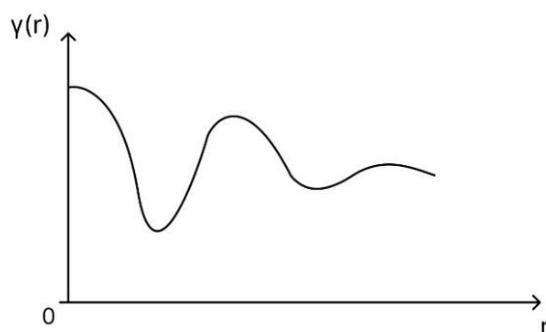


Рисунок 8 – Синусоидальный тип полувариограммы

Обычно при исследовании лесных фитоценозов полувариограмма принимает вид, характерный для эффекта самородков, либо для синусоидального типа, который более характерен для лесных фитоценозов, чем остальные типы.

Следовательно, можно сгенерировать маркированный точечный процесс при помощи полувариограммы. При наличии реализации точечного процесса на плоскости задача генерирования маркированного точечного процесса сводится к генерированию случайной переменной марки на заданной точечной структуре. В данном случае, в качестве марки z выбрана одна скалярная величина – возраст дерева [3].

Таким образом необходимо сгенерировать размещение N точек с соответствующими марками в ограниченном прямоугольнике на плоскости такое, чтобы соблюдались следующие условия:

- должна быть выбрана одинаковая характеристика размещения точек, в данном случае характеристикой является радиальная функция распределения.

- расстояние между заданной полувариограммой γ_0 и полувариограммой полученного результата γ было меньше некоторого малого числа ε .

Следовательно, задача состоит в том, чтобы на полученное размещение, полученное при помощи метода генерирования пространственного размещения на основе радиальной функции распределения, состоящее из N точек, распределить полученные N реализаций марки z на плоскости таким образом, чтобы соблюдалось условие, описанное формулой:

$$A^* = |\gamma^0 - \gamma| = \int_0^{R_{\max}} \text{abs}[\gamma^0(r) - \gamma(r)] dr < \varepsilon, \quad (3)$$

где R_{\max} – радиус области, в которой известна полувариограмма.

Алгоритм распределения значений марок z по N точкам размещения состоит из нескольких этапов:

1. Каждой точке N , полученного точечного процесса, с координатами (x_i, y_i) случайно присваивается значение z_i . При этом

полувариограмма начальной структуры принимает случайный тип, который показан на рис. 7.

2. Далее над каждой точкой производится M единичных модификаций:

- случайным образом выбирается две точки i и j .

- значение марки z_i приписывается точке с номером j и наоборот. Ограничения на расстояние между точками не накладывается.

3. После каждой единичной модификации выполняется алгоритм Метрополиса, где сравнивается значение критерия A^*_i для текущего набора точек и A^*_{i+1} для полученного нового набора. Но вычисляется не A^*_{i+1} после каждой модификации, а только изменение ΔA^*_i . Происходят следующие этапы:

- пусть выбраны точки i и j , значения марок которых нужно поменять местами. Для обеих точек выполняются аналогичные действия;

- выбрать одну точку p_i . Пусть p_k ($k \neq j$) – точка процесса, которая находится от точки p_i на расстоянии r , которое не превышает R_{\max} ;

- значения марок в точках, меняются местами;

- вычисляется значение γ , вклад пары точек (p_i, p_k) в сумму значение для вычисления значения полувариограммы, описанное в формуле (2) равен $1/2nr(z_i - z_k)^2$;

- при замене z_i на z_j изменение значение полувариограммы γ описывается формулой:

$$\Delta\gamma = \frac{1}{2nr} [(z_j - z_k)^2 - (z_i - z_k)^2] \quad (4)$$

- значение $\Delta\gamma$ прибавляется к сумме для рассматриваемой полувариограммы γ ;

- выполнить аналогичные действия для все соседей ($r < R_{\max}$) точки p_i ;

- проделать аналогичные вычисления для точки p_j .

Таким образом получено значение полувариограммы для структуры, возникшей после единичной модификации.

После каждой единичной модификации вычисляется изменение критерия $A^*_i - \Delta A^*_i$. Если критерий A^*_i удовлетворяет условию, что $A^*_i = |\gamma^0 - \gamma| < \varepsilon$, то тогда алгоритм завершает работу, если нет, то повторно совершаются модификации над точками.

Итоговая трёхмерная визуализация пространственного точечного процесса, представленного в виде древостоя, размещённого на заданной площади естественного происхождения, представлена на рис. 9 (вид сверху) и рис. 10 (вид внутри).



Рисунок 9 – Визуализация смоделированного древостоя (вид сверху)

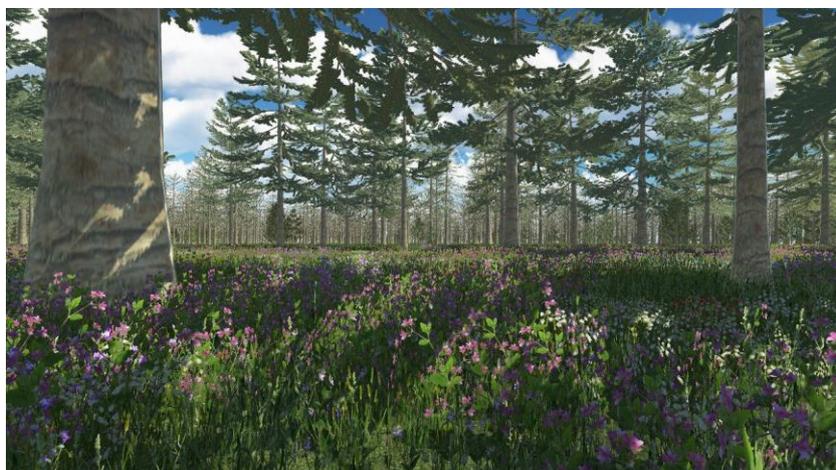


Рисунок 10 – Визуализация смоделированного древостоя (вид внутри)

Таким образом получается сгенерированный точечный процесс, представленный в виде древостоя естественного происхождения, где всем точкам процесса на плоскости приписаны значения марок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев, А. А. Теория пространственных точечных процессов в задачах экологии и природопользования: учеб. пособие / А.А. Савельев, С.С. Мухарамова, Н.А. Чижикова, А.Г. Пилюгин – Казань: Издательство Казан. ун-та, 2014. – 146 с.
2. Анализ вариограмм и кригинг [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: https://helpiks.org/9-64321.html?ysclid=liqih6ht3f4075_25743 – Дата доступа: 20.03.2023.
3. Гусаков, С. В. Моделирование на ЭВМ пространственной структуры лесных фитоценозов. / С.В. Гусаков, А.И. Фрадкин. – Минск: БГТУ, 1990. – 112 с.

СТЕГАНОГРАФИЯ В ВЕКТОРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В данный момент векторная графика широко применяется для хранения и передачи графических данных, которые представляют собой уникальную среду для применения стеганографических методов. Векторная графика использует математическое описание базовых геометрических элементов, таких как точки, сплайны, кривые Безье, окружности, эллипсы и многоугольники, для представления графических объектов и изображений.

Формат SVG (Scalable Vector Graphics) является наиболее удачным для проведения стеганографических преобразований благодаря своей структуре, основанной на XML, которая позволяет легко манипулировать объектами. Для создания сложных графических объектов в SVG используют элемент `<path>`, определяемый атрибутом "d", который содержит серию команд и параметров для их использования. Команды в SVG обозначаются буквами: верхнего и нижнего регистра, где заглавные буквы обозначают абсолютные координаты, а команды со строчной буквы означают относительные координаты, которые считаются от последней точки. Например, команды *m* и *M* перемещает курсор к указанной точке точки, а команды *l* и *L* рисуют линию к указанным координатам. Для получения гладких кривых линий в элементе `<path>`, применяются несколько различных команд, из которых две – это кривые Безье, а третья дуга.

Способы стеганографического преобразования фигур в векторных изображениях часто сводятся к двум группам: преобразование координат контрольных точек и внедрение дополнительных точек в элементы фигуры. Преобразование контрольных точек можно осуществить путем аналогичным LSB для векторной графики это может быть манипуляцией незначительной дробной частью координаты или целой при значительном размере области видимости, так и изменение цвета фигур при условии использования множества цветов в шестнадцатеричном формате.

Поскольку кроме преобразования существующих фигур в векторных изображениях используя особенности файла в формате SVG можно также добавить новые фигуры, которые не будут отображаться при просмотре. В одном из вариантов из вариантов возможно добавления скрытой информации за пределами отображаемой пользователю области по умолчанию [2].

На рис. 1 представлен SVG-файл с внедренным словом «стеганография». Рассматривая код файла, предоставленного на рис. 2 можно обнаружить что кроме отображённого ранее круга имеется не отображённый элемент текста. При изменении атрибута `viewBox` можно добиться отображения скрытого сообщения.

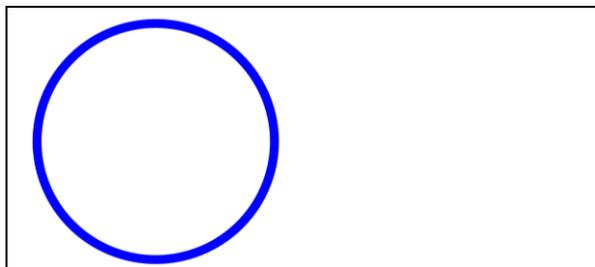


Рисунок 1 – Отображение файла SVG с установленным ограничением видимой области

```
<svg version="1.0" xmlns="http://www.w3.org/2000/svg"
viewBox="0 0 200 200">
<circle cx="50" cy="50" r="40"
      fill="none" stroke="blue" stroke-width="3"/>
<text x="201" y="40" font-size="30" >Стеганография</text>
</svg>
```

Рисунок 2 – Файл SVG с установленным ограничением видимой области

Отображение файла SVG с увеличенной областью видимости и его код представлены на рис. 3–4.

Представленный выше метод отображает только возможность сокрытия информации в неотображаемой области. Однако данный метод показывает стойкость только к визуальным атакам на систему, но является неустойчивым против экспертной атаки посредством анализа кода так как использует добавленные элементы что увеличивает размер файла и значения координат за пределами отображаемой области.

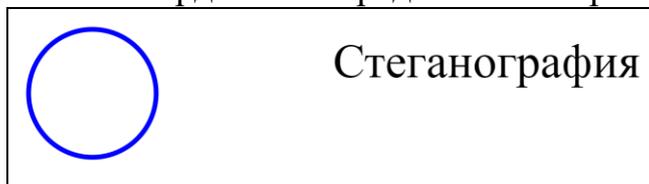


Рисунок 3 – Отображение файла SVG с увеличенной областью видимости

```
<svg version="1.0" xmlns="http://www.w3.org/2000/svg"
viewBox="0 0 400 200">
<circle cx="50" cy="50" r="40"
      fill="none" stroke="blue" stroke-width="3"/>
<text x="201" y="40" font-size="30" >Стеганография</text>
</svg>
```

Рисунок 4 – Файл SVG с увеличенной областью видимой области

Метод представленный ранее возможно модифицировать для того, чтобы избежать использования координат, превышающих значения в атрибуте `viewbox`. Для рассматриваемого ранее файла возможно изменить значения координат на принадлежащие области видимости и размера текста и разместить его за заливкой круга [3]. Пример с размещением текста за заливкой представлен на рис. 5.

```
<svg version="1.0" xmlns="http://www.w3.org/2000/svg"
viewBox="0 0 400 200">
<text x="18" y="50" font-size="10"
fill="black">Стеганография</text>
<circle cx="50" cy="50" r="40" fill="white" stroke="blue"
stroke-width="3"/> </svg>
```

Рисунок 5 – Часть файла SVG с градиентной заливкой скрытого текста

Недостатком данного метода является увеличение размера файла за счёт внедрения дополнительных элементов в файл SVG, повышая, таким образом вероятность обнаружения скрытой информации. Представленные выше методы могут быть модифицированы для усложнения получения скрытой информации.

Таким образом при сравнении различных методов встраивания информации следует учитывать их преимущества и недостатки, а также различия в объеме контейнера и уязвимости к атакам. Поэтому при выборе метода встраивания информации важно учитывать эти различия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урбанович, П.П. Защита информации методами криптографии, стеганографии и обфускации: учеб.-метод. пособие / П.П. Урбанович. – Минск: БГТУ, 2016. – 220 с.
2. Николайчук, А.Н. Стеганографический метод на основе использования особенностей отображения элементов в формате SVG / А.Н. Николайчук, П.П. Урбанович // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. – 2023. – № 1 (266). – С. 64–70.
3. Уласевич, Н.И. Стеганографические решения в SVG файлах / Н.И. Уласевич // Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС : сборник статей VI Международной научно-технической конференции "Минские научные чтения – 2023", Минск, 06–08 декабря 2023 г. - Минск : БГТУ, 2023. – Т. 1. – С. 476–480.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАТТЕРНОВ РАСКЛАДКИ ДЕТАЛЕЙ В АЛГОРИТМЕ НЕЛИНЕЙНОГО РАСКРОЯ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

В рамках [1] были определены цель, задачи и приоритетные направления социально-экономического развития страны, ключевые меры по их реализации, в частности одной из задач является проект по внедрению роботизированных программно-аппаратных комплексов в СООО «Белвест». Как было отмечено в [2] реализация данного проекта позволит значительно увеличить производительность труда, одновременно повысив качество и снизив издержки производства. В результате на предприятии ожидается увеличение объёмов производства обуви с текущих 700 тыс. пар в год до 3 млн. пар в год.

Внедряемые комплексы позволят автоматизировать такие операции на производстве как дефектовка кожтовара, раскроя, шершевания, намазки, наклейки и другие. Объектом исследований является одна из автоматизируемых операций – раскрой кожи. Предметом исследований при этом является алгоритм плотного нелинейного раскроя плоской поверхности произвольной формы (далее АПР).

Первоначально, при реализации проекта по автоматизации операции раскроя на предприятии было решено использовать проприетарное зарубежное программное обеспечение, реализующее АПР. Однако в силу лицензионного соглашения в него невозможно самостоятельно вносить изменения. Это приведёт к тому, что через некоторое время программное обеспечение морально устареет и перестанет удовлетворять пользователя по ряду показателей. В Республике Беларусь не осуществлялась разработка подобных алгоритмов, поэтому дальнейшая работа по исследованию данного направления является актуальной.

АПР относится к классу NP-трудных задач [3], не имеющих общепринятых способов решения. В общем случае нахождение оптимального решения таких задач не представляется возможным, так как для этого потребуются неоправданно большие вычислительные ресурсы и/или чрезмерное время. Поэтому при решении задач из данного класса обычно применяются различного рода оптимизации, в частности для задачи раскроя применяются эвристические алгоритмы, основанные на переборе [4] вариантов раскроя.

Сама по себе задача раскроя может быть сформулирована по-разному, в зависимости от накладываемых ограничений. Дальнейшие исследования ведутся для задачи с ограничением на минимальное количество отходов при раскрое. Т.е. требуется спланировать раскрой таким образом, чтобы минимизировать общие издержки при производстве некоторого количества изделий. В таком случае задачу можно сформулировать следующим образом: «Требуется на некоторой поверхности произвольной формы расположить некоторый набор деталей нелинейной формы так, чтобы суммарная площадь неиспользованной поверхности материала была минимальна».

Информацию о способе расположения деталей, не обязательно всех сразу, на отдельно взятом материале будем считать вариантом раскроя. Отметим, что любой рассматриваемый вариант раскроя должен обладать свойством полноты, которое обозначает, что при данном варианте раскроя ни одна деталь из имеющегося множества не может быть дополнительно расположена на материале. Данное требование позволяет не рассматривать варианты, которые будут заведомо не оптимальны.

При этом также стоит отметить, что применение данного алгоритма на массовом производстве накладывает более строгие ограничения по времени. Данное обстоятельство, а также то, что задача является NP-трудной, сводят задачу построения алгоритма к поиску некоторого допустимого решения, которое в общем случае не обязательно оптимально. В таком случае одной из задач при разработке АПР является подбор такого порогового значения, чтобы соотношение производительности и эффективности алгоритма было максимально сбалансированным.

Заметим, что при непрерывной работе программного обеспечения на основе АПР должна быть обеспечиваться комплектность раскраиваемых заготовок. В будущем АПР предлагается решить эту задачу основываясь на законе больших чисел. Массовость производства, а именно миллионы изделий, обеспечит кратность суммарного количества каждого вида детали количеству необходимых деталей этого вида в одном комплекте. Предполагается, что может быть произведена корректировка вероятностей выбора видов деталей при обнаружении сильных отклонений в пользу какого-либо определенного вида детали.

На данном этапе работы над АПР было решено исследовать следующие подходы к оптимизации:

- параллельные вычисления;
- оффлайновые вычисления;

- случайный перебор;
- метод ветвей и границ.

Рассмотрим два основных варианта применения АПР при работе производственной линии: онлайн и оффлайн вычисления.

Онлайн вычисления подразумевают поиск подходящего варианта раскроя материала в процессе работы линии. Данный вариант вычислений требует повышенной производительности алгоритма по ранее оговорённой причине сильно ограниченного времени, так как от операции раскроя зависят последующие этапы производства, а следовательно задержки на одном этапе приведут к нарушению работы линии в целом.

Оффлайн вычисления основываются на выносе расчётов вариантов раскроя за пределы производственной линии. Для данного подхода будем полагать, что точные размеры и детали материалов не известны. В таком случае будем просчитывать некоторые шаблоны или паттерны раскладки. Количество рассчитываемых паттернов будет варьироваться и зависеть от количества деталей, которые необходимо раскроить. На непосредственно производственной линии будет происходить лишь процесс оптимального расположения каких-либо выбранных паттернов, что позволяет получить более эффективный алгоритм, чем при онлайн вычислениях, в следствие возможности проверки большего количества вариантов за идентичное время. Однако даже при нахождении некоторых эффективных паттернов их конечное расположение на материале может оказаться не столь эффективным. Поэтому простая подготовка максимального числа эффективных паттернов не сработает без разрешения проблемы конечного применения этих паттернов к материалу.

Среди общих способов оптимизации, т.е. подходящих для обоих типов вычислений, решено рассмотреть оптимизацию методом случайного перебора. В таком случае при переборе вариантов, следующий для проверки вариант формируется с использованием некоторой случайности, что теоретически должно позволить снизить количество вариантов с недостаточной эффективностью.

Ещё одним вариантом снижения количества вариантов с недостаточной эффективностью, является использование метода ветвей и границ. Процесс генерации варианта размещения будет разбиваться на некоторые подзадачи, среди которых будут отброшены те, решение которых заведомо не является достаточно оптимальным.

Последней на данный момент рассматриваемой оптимизацией является распараллеливание вычислений. Это позволит рассмотреть больше вариантов за тоже время, однако при этом возникает проблема

не повторяемости рассмотренных вариантов разными вычислительными единицами. Стоит отметить, что в определенный момент увеличения количества вычислительных единиц, производительность алгоритма перестанет повышаться и начнёт снижаться. Следовательно количество таких единиц должно быть выбрано так, чтобы получить наилучший прирост производительности.

Выводы:

1. АПР ориентирован на массовое производство: характеристики алгоритма позволяют адекватно оценить его эффективность только при многократном применении. Характеристики могут быть использованы заказчиком при формулировке требований к алгоритму.

2. Оффлайн вычисления позволяют использовать больше времени чем, того позволяют онлайн вычисления, что позволит проверить и найти больше эффективных вариантов, но требует разрешения проблемы конечного размещения паттернов на материале.

3. Использование АПР в оффлайн вычислениях в совокупности с параллельными вычислениями, а также эвристическими оптимизациями продемонстрируют наилучший показатель эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021-2025 годы : Указ Президента Респ. Беларусь, 29 июля 2021 г., № 292 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2021. – 1/19834.

2. Легкая промышленность в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : аналитический обзор отрасли легкой промышленности за 2022 год / Национальное агентство инвестиций и приватизации Республики Беларусь. – Минск: Национальное агентство инвестиций и приватизации Республики Беларусь, 2023. – Режим доступа: <https://invest-inbelarus.by/upload/medialibrary/a14/ry0scom5bwyadjx6u1268ezjln4o9cr/Legkaya-promyshlennost.pdf>. – Дата доступа: 20.11.2023.

3. Approximation algorithms for NP-hard problems / University of California – Berkeley; ed.: Dorit S. Hochbaum. – Boston : PWS Publishing Company, 1997. – 618 p.

4. Смелов, В.В. Комбинаторные алгоритмы оптимизации / В.В. Смелов, А.И. Бракович. – Минск : БГТУ, 2011. – 178 с.

ТЕСТИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ

Системы тестирования обычно используют режим выбора тестируемым правильного варианта из предложенного списка вариантов для ответа слов, ситуаций, схем и т. п. Если же вопросы теста предполагают ответы на естественном языке в виде развернутого предложения, то их обработка, как правило, производится «вручную» экспертом-преподавателем, что существенно усложняет и замедляет процесс подсчета результатов тестирования.

Современные технологии позволяют разрабатывать компьютерные обучающие системы, автоматизирующие процесс обучения с заменой реального преподавателя виртуальным и функционирующие в режиме диалога с обучаемым по учебному материалу изучаемой дисциплины на естественном языке [1]. Для организации такого диалога для текстовой информации по данной предметной области создается база знаний с семантической структурой, которая содержит все ключевые понятия-объекты и их смысловые связи по учебному материалу дисциплины и функционально представленная в виде семантической сети [2].

Структура семантической базы знаний может быть представлена в виде записей-триад и храниться в двумерном текстовом массиве из отношений между ключевыми понятиями для каждого простого предложения в тексте учебного материала в виде семантической связи: «субъект»-«отношение»-«объект» или в лингвистических терминах – в виде структурных блоков предложения: «подлежащее»-«сказуемое»-«дополнительные члены предложения», которая позволяет использовать заложенные в триадах семантические связи для интеллектуальной обработки текстовой информации.

Такую структуру семантической базы знаний можно использовать как для изучения дисциплины в режиме диалога с задаваемыми вопросами по учебному материалу и получаемыми на них точечными ответами из базы знаний [3], так и для проведения тестов на естественном языке. Например, для фразы «Электрон имеет отрицательный заряд» на тему учебного материала по электричеству в двумерном текстовом массиве базы знаний будет храниться запись-триада:

«Электрон»-«имеет»-«отрицательный заряд»

Для проведения теста на естественном языке добавим для удобства в эту строку двумерного массива четвертым элементом соответствующий ей вопрос:

«Какой заряд имеет электрон?»

который будет выводиться на экран в процессе тестирования. Пусть в качестве ответа на этот вопрос тестируемый введет фразу, например:

«Электрон имеет положительный заряд»

что будет являться неправильным ответом.

Для проверки полученного ответа это предложение разбивается на отдельные слова и раскладывается на триаду, передающую семантическое отношения между субъектом и объектом в этом предложении:

«Электрон»-«имеет»-«положительный заряд»

Чтобы образовать такую триаду из отдельных слов в ответном предложении необходимо, прежде всего, найти среди всех слов предложения сказуемое, которое определяется по псевдоокончанию, характерному для слов кандидатов на сказуемое. В приведенном примере ответного предложения это будет псевдокончание «ет» в слове «имеет». Тогда слева от сказуемого, как элемента триады «отношение», будет элемент триады «субъект», а справа – «объект».

Затем необходимо пройти в цикле все записи в массиве базы знаний и найти среди них строку, содержащую соответствующую запись-триаду с верной информацией.

При определении соответствия элементов триады ответа и триады в базе знаний в общем случае необходимо использовать шаблонные регулярные выражения для всех элементов триады полученного в ответе предложения, поскольку в правильном ответе подлежащие могут стоять в других падежах, а сказуемые в других склонениях, чем в верной записи базы знаний, но их необходимо засчитать как правильные. Однако при проведении тестирования достаточно будет проверить на соответствие только два элемента триады: «отношение» и «объект», поскольку первый элемент – «субъект» уже содержится в задаваемом вопросе и должен будет по необходимости использоваться в ответном предложении по принятым в системе тестирования правилам его построения.

В языке JavaScript для обработки регулярных выражений обычно используются экземпляры из класса `RegExp()`, аргументом в которых выступает заданный шаблон исходного выражения. При этом, если блок подлежащего состоит из нескольких слов, то их необходимо объединить в одну последовательность символов, используя связку символов «.*», для каждого слова. Например, для «объекта» в триаде

приведенного выше ответного предложения шаблоном будет последовательность символов «.*положительный.*заряд.*», который после проверки в системе тестирования даст отрицательный результат. Таким образом, шаблон для подлежащих в ответном предложении определяется как последовательность символов, задаваемых на проверку их соответствия в верном выражении для блока подлежащего в базе знаний. Причем проверка шаблона будет выполняться для количества символов в нем больше трех, поскольку символы в шаблоне «.*» не нуждаются в проверке.

Шаблон для сказуемого в ответном предложении строится на основании таблицы псевдоокончаний сказуемых, которая используется для замены конкретного окончания сказуемого в ответе на набор всех возможных окончаний для этого сказуемого в различных спряжениях первого и второго рода. Например, для построения шаблона сказуемого «имеет» необходимо в функцию `RegExp()` вложить шаблон «име|ет|ут|ют» и ответ типа: «Электроны имеют отрицательный заряд» будет зашитан как правильный.

Для проверки соответствия введенного тестируемым ответа на заданный вопрос система тестирования проходит в цикле все записи в базе знаний и проверяет на выполнение сложного условия из связки элементов триады «отношение» и «объект» в ответе каждой записи в базе знаний, используя при этом метод `test()` для обработки регулярных отношений. Причем результат проверки системой каждого вопроса выводится на экран фразой «ПРАВИЛЬНО!» при получении правильного ответа, либо фразой «НЕПРАВИЛЬНО!» при получении неправильного ответа. После последовательного прохождения всех вопросов теста общий результат выдается на экран и подсчитывается по формуле:

$$\boxed{\text{«ВАШ ОБЩИЙ РЕЗУЛЬТАТ} \Rightarrow m \times 10 / n \text{ «баллов»}}$$

где m – количество правильных ответов, а n – количество заданных в тесте вопросов.

Таким образом, семантические отношения между учебными объектами в базе знаний позволяют провести анализ результатов тестирования не только по точному совпадению ответа с соответствующей записью в базе знаний, но и по совпадению их смыслового содержания, заложенного в шаблонах для «отношения» и «объекта», используемых при проверке соответствия ответа и верной информации, заложенной в триадах базы знаний. При этом система тестирования обеспечивает вывод вопросов для тестирования на естественном языке в виде текста либо голосом с последующим анализом ответа тестируемого, введенного им также в виде текста либо голоса, используя в

последнем случае для диалога подключение к речевым сервисам для распознавания речи в текст и синтеза речи из текста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурин, Н.И. Компьютерные обучающие системы в издательском деле / Н.И. Гурин, О.В. Герман. – Минск: БГТУ, 2015. – Ч. 2 – 192 с.

2. Гурин, Н.И. Генератор семантической сети информационной системы в таблицу реляционной базы данных / Н.И. Гурин, Я.А. Жук // Труды БГТУ. – 2015. – № 6: Физ.-мат. науки и информатика. – С. 181–185.

3. Жук, Я.А. Реализация диалога с компьютерной обучающей системой на языке JavaScript с помощью веб-сервисов / Я.А. Жук, Н.И. Гурин // Труды БГТУ. – 2018. – № 6: Физ.-мат. науки и информатика. – С. 190–196.

УДК 658.512.6

В.А. Алешаускас, ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ С ПОМОЩЬЮ КАНБАН

Канбан – метод управления производством, реализующий принцип «точно в срок» и способствующий равномерному распределению нагрузки между работниками. При данном подходе весь процесс прозрачен для всех членов команды. В системе производства показано, что необходимо создать, когда и сколько. Задачи по мере поступления заносятся в отдельный список, откуда каждый исполнитель может извлечь требуемую задачу. Метод основан на одноименном методе в производственной системе «Тойоты» [1].

Метод «канбан» принято использовать как инструмент распределения задач при разработке программного обеспечения с использованием виртуальной либо реальной доски и стикеров с задачами на ней. Данный метод производства был внедрен в частном издательско-полиграфическом комплексе, который специализируется на издании книг малыми тиражами, ООО «Колорград» (издательский дом «Сегмент»). В начале внедрения метода управления на предприятии уже использовалась CRM-система, которая организовывала работу менеджеров по работе с клиентами предприятия и их заказами. В момент, когда появилась необходимость автоматизации производства, выбор

пал на метод управления канбан, который был реализован с помощью программного обеспечения Trello (Atlassian) [2].

Проектирование системы было направлено на:

- автоматизацию оформления заказов;
- сокращение промежуточных звеньев в организационной структуре предприятия;
- ускорение получения аналитических данных;
- повышение качества обслуживания клиентов;
- высвобождение времени работников предприятия.

Интерфейс программного решения представляет собой интерактивные доски для каждого участка издательского дома – менеджмента, отдела дизайна, производства. На доске столбцами распределены заказы, в зависимости от этапа работы или исполнителя заказа.

Изначально была создана система, при которой составленное в Excel техническое задание автоматически генерировалось в карточку с заказом в системе Trello. Для заказа применялись маркеры, которые оповещают всех участников процесса о срочности, приоритете и степени готовности. Обязательно в карточке прописывается срок отгрузки и исходя из него формируется сроки выполнения задач для всех производственных отделов.

Для автоматизации работы также можно экспортировать данные из карточки, оформленной в Trello в формат JSON и информацию из этого файла интерпретировать для заполнения принятой на предприятии документации (технического задания). Премиум-версия предоставляет возможность экспорта данных в другие форматы для удобства работы с веб-приложением.

Изменение организационной структуры предполагается исходя из того, что задания с использования метода «канбан» могут быть переданы напрямую от исполнителя к исполнителю, что превращает организационную структуру управления проектом из линейной (рис. 1а) в матричную (рис. 1б). На рис. 1 представлен путь, проходимый проектом до и после внедрения метода «канбан». При этом, несмотря на сокращение пути, проходимого проектом по предприятию, потери управляемости несущественные, потому что каждый руководитель имеет доступ к виртуальным доскам, может регулировать и корректировать порядок работы.

Веб-приложение «Trello» предоставляет возможности по беглой аналитике данных. Можно быстро просмотреть сколько заказов за какой срок выполняет каждый отдел, а при добавлении отметки работника в карточку, можно также оценить выполненный объем работы каждым сотрудником. Кроме того, можно просмотреть информацию

о том, сколько заказов находится в конкретный момент времени на каждом этапе производственного процесса, что позволяет специалисту по снабжению и руководителям каждого участка планировать закупки материалов и загрузку оборудования и подчиненных работников для изготовления продукции «точно в срок».

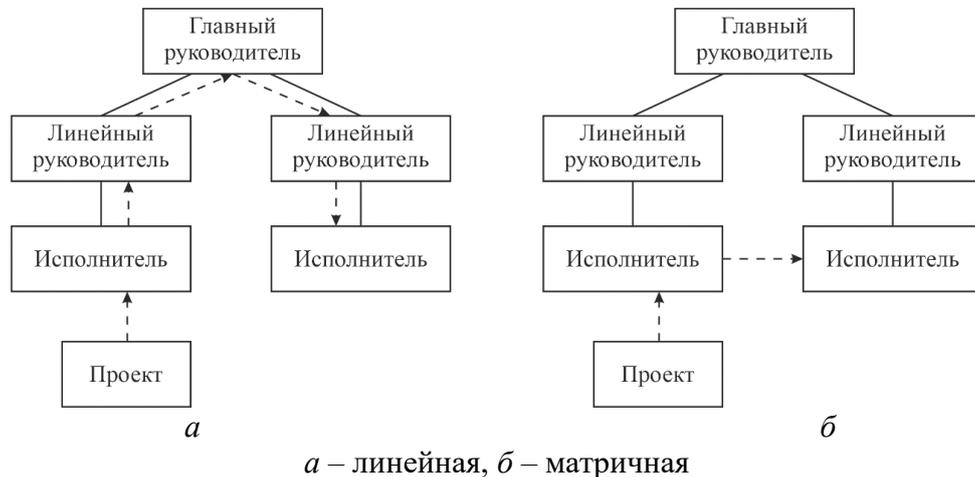


Рисунок 1 – Организационная структура управления

Визуальное представление заказов на виртуальных досках также позволяет специалистам по работе с клиентами повысить качество обработки запросов от клиентов: они могут без дополнительных действий, как это было до внедрения «Trello» предоставить клиенту информацию о том, на каком этапе находится заказ в производстве, а также сориентировать заказчиков о загрузке производства в ближайшее время.

Trello предоставляет широкие возможности по автоматизации производства при использовании премиум-функций. В представленном докладе описаны возможности автоматизации управления издательско-полиграфическим комплексом с помощью бесплатной версии веб-приложения.

В основном, экономический эффект от внедряемой автоматизации следует из уменьшения времени, затрачиваемого специалистами по работе с клиентами, на оформление заказа, а также на исключении из пути прохождения заказа промежуточной роли ответственного за передачу заказа с этапа на этап. При этом, линейные руководители не сокращались в структуре, а загружались более важными в производственном процессе задачами, что также принесло дополнительную прибыль.

Таким образом, метод управления «канбан» на основе программного обеспечения Trello (Atlassian) повысил экономическую эффективность работы компании ООО «Колорград», экономя время менеджеров и позволяя избавиться от издержек и простоев при пере-

даче заказа с этапа на этап. По данным, полученным от предприятия, ежемесячный эффект от внедрения данного метода управления позволил сэкономить сумму, примерно равную зарплате двух квалифицированных специалистов. Также отмечено, при внедренной системе производства повысилась степень информированности руководителей компании о состоянии производственного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Канбан и «точно вовремя» на Toyota: Менеджмент начинается на рабочем месте = Just-in-Time at Toyota: Management Begins at the Workplace. – М.: Альпина Паблишер, 2014. – 214 с.

2. Trello // Atlassian Trello [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://trello.com/home>. – Дата доступа: 12.02.2024.

УДК 004

А.В. Комкова, преп.-стажер
(БГТУ, г. Минск)

ПАРСИНГ ДАННЫХ НА RUBY: СОВРЕМЕННЫЕ ПРАКТИКИ И ЛУЧШИЕ ПОДХОДЫ

Парсинг данных играет важную роль в современном мире, предоставляя возможность извлекать и анализировать информацию из различных источников, а также дает ряд преимуществ в автоматизации процессов сбора и обработке больших объемов данных для последующего анализа и поиска наилучшей стратегии для компаний, мониторинге конкурентов и рынка. Помимо этого, парсинг помогает в поиске уязвимостей сети и предотвращении кибератак, что является важным аспектом в обеспечении безопасности информации.

Одним из распространенных языков для написания парсеров является Ruby. Данный язык привлекает разработчиков своей простотой, легкостью в освоении и чтении синтаксисе, что способствует быстрой обучаемости, многопоточностью и кроссплатформенностью.

Выбор HTTP-клиента для выполнения запросов. Для скачивания веб-страниц и взаимодействия с веб-ресурсами необходимо использовать HTTP-клиент. В Ruby есть свой встроенный HTTP-клиент, однако рекомендуется использовать gems (библиотеки), так как они обладают более обширным функционалом и решают ряд проблем встроенного клиента.

Наиболее популярным вариантом является gem `curl` [1] – это Ruby-библиотека, предоставляющая интерфейс к библиотеке `libcurl` для работы с HTTP-запросами. Данная библиотека обладает высокой

производительностью, так как написана на языке С. Библиотека поддерживает не только HTTP, но и другие протоколы, такие как HTTPS, FTP, FTPS, SCP, LDAP и многие другие. Более того, данный gem поддерживает SSL и авторизацию и активно обновляется, что гарантирует совместимость с последними версиями языка Ruby.

Всё это делает `curb` мощным инструментом для работы с различными видами сервисов.

Выбор библиотеки для работы с веб-страницами. Распространенными вариантами для работы с данными, полученными с веб-страницы, являются `Mechanize` [2] и `Nokogiri` [3].

`Nokogiri` – это библиотека для высокоэффективного парсинга и обработки HTML и XML-документов. Её основное назначение – извлечение данных из структурированных документов с использованием CSS- и XPath-селекторов.

Библиотека `Mechanize` строится поверх `Nokogiri` и предоставляет более высокоуровневый интерфейс для автоматизации взаимодействия с веб-страницами, включая отправку форм, обработку cookie, авторизацию и даже навигацию по страницам.

Выбор между `Nokogiri` и `Mechanize` зависит от конкретных потребностей проекта. В некоторых случаях, обе библиотеки могут использоваться вместе для комбинированных задач.

Различные подходы к парсингу разных форматов данных.

Вместе с `Nokogiri` в Ruby, можно использовать XPath для более точного и гибкого парсинга HTML- и XML-страниц.

Пример Ruby кода с использованием XPath представлен ниже:

```
require 'nokogiri'
# HTML-строка
html_string = '<ul><li>Item 1</li><li>Item 2</li><li>Item 3</li></ul>'
# Создание объекта Nokogiri
doc = Nokogiri::HTML(html_string)
# Использование XPath для извлечения списка элементов
items = doc.xpath('//ul/li')
# Вывод результатов
items.each { |item| puts item.text }
```

В примере выше HTML-строка `html_string` преобразовывается в объект `Nokogiri` для дальнейшего извлечения данных из разметки с помощью XPath-селекторов.

XPath предоставляет богатый набор возможностей для навигации и выбора элементов в XML и HTML документах, что делает его мощным инструментом для парсинга данных.

В Ruby для сбора данных в формате JSON используется встроенная библиотека `json`.

```
# JSON-строка
source = '{"a": "foo", "b": 1.0, "c": true, "d": false, "e": null}'
# Использование JSON для преобразования строки в JSON
ruby = JSON.parse(source)
# Полученные данные
ruby # => {"a"=>"foo", "b"=>1.0, "c"=>true, "d"=>false, "e"=>nil}
```

В примере выше JSON-строка `source` парсится с использованием метода `JSON.parse`. Полученные данные сохраняются в хэше `ruby`, и можно обращаться к значениям по ключам. В случае, если данные имеют более сложную структуру, можно использовать рекурсивные вызовы и другие подходы для более глубокого анализа.

Оптимизация процессов. Оптимизация процесса скачивания и парсинга данных важна для создания эффективных приложений. Добиться этого можно с помощью ограничения количества одновременно активных соединений для предотвращения перегрузки сервера и улучшения стабильности работы парсера; кеширования результатов запросов; освобождения ресурсов после использования, например, закрытие файлов, освобождение памяти; распараллеливание задач скачивания и парсинга с использованием потоков или процессов.

Как не выглядит ботом? При сборе данных с различных веб-сайтов, особенно в достаточно больших объемах, необходимо позаботиться о том, чтобы парсеры не были распознаны в качестве ботов и ограждены от веб-страницы в последующем. Добиться этого можно, изучив какие заголовки, `cookie` и API ключи позволяют получить доступ к данным, и добавить их к запросам, которые совершает парсер. Отличным решением будет регистрация нескольких пользовательских аккаунтов на сайте и добавление участка кода, который будет совершать авторизацию и выполнять сбор данных.

Обработка получения 300-х, 400-х, 500-х ответов необходима для того, чтобы парсер не продолжал выполнять запросы к серверу, тем самым привлекая к себе внимание. Наилучшим решением будет остановка работы парсера на определенных промежутках времени при получении одного ответа несколько раз подряд либо обработка перенаправления на другой ресурс.

Использование проху позволит получить доступ к сайтам, которые делают ограничение по региону IP-адреса клиента. Важно помнить, что в таких случаях при достаточно активной скачке данных под одними проху, велика вероятность их блокировки. Рекомендуется иметь определенный пул проху, и разделять их между процессами или

потоками. В случае блокировки проху откладывать их в другой пул для ожидания разблокировки.

С каждым годом все больше веб-ресурсов начинают использовать разнообразную защиту от ботов. Распространенными вариантами являются CAPTCHA, Cloudflare, Akamai, Amazon WAF Bot Control и многие другие. Защиту можно обойти, используя decaptcher и с помощью таких инструментов как Chrome Client и Selenium, которые позволят имитировать поведение пользователя, например, движение курсора, размер окна, fingerprint браузера и т. д. В особо сложных случаях необходимо провести тщательный реверс-инжиниринг и написать собственное решение.

Описанные в данном разделе действия позволят парсеру выглядеть неприметно для веб-ресурса и оставаться незамеченным долгое время.

Будущее парсинга данных. Объединение технологий сбора и извлечения данных с возможностями искусственного интеллекта открывает новые перспективы для эффективного использования информации из различных источников.

Машинное обучение может быть использовано для обучения парсеров распознавать и извлекать данные. Например, можно обучить модель находить и выделять информацию из структурированных документов, даже если формат документов меняется. Анализ эмоционального контекста информации с использованием ИИ будет полезен при изучении отзывов и комментариев.

NLP-технологии могут быть применены для анализа текста, выделения ключевых слов и других элементов текста.

Технологии компьютерного зрения и распознавания образов могут быть использованы для получения информации из изображений или скриншотов веб-страниц, что может быть полезно при сборе данных визуального характера.

Использование алгоритмов кластеризации и классификации даст возможность автоматически группировать и категоризировать данные.

Таким образом, были рассмотрены современные способы и лучшие подходы для парсинга данных на языке Ruby.

ЛИТЕРАТУРА

1. Curl – библиотека для HTTP-запросов. – Режим доступа: <https://github.com/taf2/curb/>.

2. Getting Started With Mechanize. – Режим доступа: https://docs.seattlerb.org/mechanize/GUIDE_rdoc.html/.

3. Nokogiri – библиотека для обработки HTML и XML-документов. – Режим доступа: <https://nokogiri.org/index.html/>.

Т.П. Новикова, доц., канд. техн. наук;
С.А. Евдокимова, доц., канд. техн. наук;
А.И. Новиков, доц., д-р. техн. наук (ВГЛТУ, г. Воронеж, Россия)

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ FLR-LIBRARY

В рамках проекта «Разработка справочной информационной системы для адаптивного восстановления лесных ландшафтов (FLR-Library)» [1] планируется разработка программного обеспечения (ПО), поддерживающего принятие управленческих решений в части восстановления лесных ландшафтов. Под восстановлением лесных ландшафтов будем понимать все процессы, такие как лесовосстановление, лесоразведение и содействие естественному лесовосстановлению, направленные на приращение лесных площадей.

Разрабатываемое ПО будет включать справочную информацию о наиболее значимых в лесном хозяйстве дескрипторах [2–5], базы данных физико-механических свойств почвы, характеристики типов древостоя, климатических данных, машин и оборудования, технологических операций и др. Разрабатываемое ПО будет базироваться на модели справочной информационной системы [6] и алгоритме, учитывающем современные тенденции при лесовосстановлении [7,8].

«Модель справочной информационной системы отражает предметную область и базируется на алгоритме управления, который учитывает современные тенденции при восстановлении лесных ландшафтов, такие, как оценка качества семян и неразрушающий контроль качества семян, обработка лесных семян сосны обыкновенной (в том числе, се-парирование по цветосеменным расам, капсулирование и дражжирование семян), влияния климатических изменений на саженцы с ЗКС, применения технологии и технических средств для высева дражжированных семян с БПЛА» [6].

На рис. 1 представлена контекстная диаграмма, которая состоит из единственного объекта – «Выбор технологии восстановления лесного ландшафта» и показывает его взаимодействие с внешней средой путем отображения входных и выходных данных, управляющей информации и механизма выполнения.

Для детального анализа предметной области и моделирования процесса адаптивного лесовосстановления произвели декомпозицию контекстной диаграммы на диаграмму А1, которая показывает реализацию процесса выбора технологии восстановления лесного ландшафта с точки зрения технологии и технических средств и диаграмму А2,

которая рассматривает технологию восстановления лесных ландшафтов с точки зрения лесовосстановления, лесоразведения и содействия естественному лесовосстановлению. Данные исследования и характеристики контекстной диаграммы IDEF0 представлены авторами в открытой печати [6].

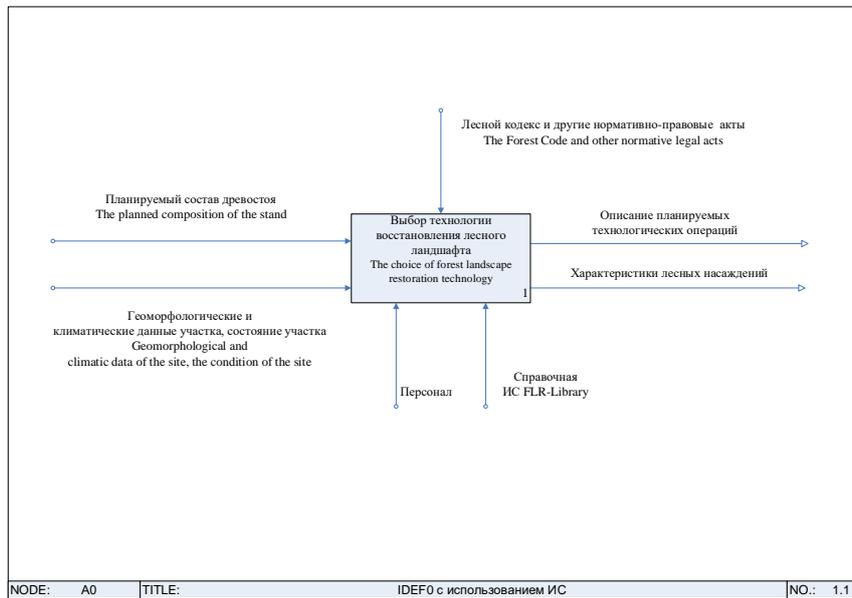


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма IDEF0 для справочной информационной системы для адаптивного восстановления лесных ландшафтов (FLR-Library)

В предложенном ранее алгоритме восстановления лесных ландшафтов была попытка учесть все современные тенденции по технологии подготовки и обработки семян, современные технологии точного воздушного высева семян в труднодоступных районах и др. Таким образом, алгоритм позволял решить задачу выбора набора технологических операций для нетривиальных условий. Поэтому разработка ПО на базе данного алгоритма обеспечит поддержку принятия управленческих решений по выбору технологических операций в процессе восстановления лесных ландшафтов практически для любых входных условий.

*Данное исследование выполнено при финансовой поддержке гранта
Российского научного фонда № 23-26-00102,
<https://rscf.ru/project/23-26-00102/> [1].*

ЛИТЕРАТУРА

1. Новикова, Т.П. Разработка справочной информационной системы для адаптивного восстановления лесных ландшафтов (FLR-Library) грант № 23-26-00102. Российский научный фонд.
2. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023624284 Российская Федерация. Результаты исследований

набора данных основных терминов FLR-управления: № 2023624232: заявл. 25.11.2023: опубл. 30.11.2023 / Т.П. Новикова, Е.П. Петрищев, А.И. Новиков; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова".

3. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023624307 Российская Федерация. Результаты исследований набора данных по ключевым дескрипторам: лес, лесные ландшафты, адаптивное лесовосстановление, концепции адаптивного лесовосстановления: № 2023624072: заявл. 21.11.2023: опубл. 01.12.2023 / Е.П. Петрищев, Т.П. Новикова, А.И. Новиков; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова".

4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023624353 Российская Федерация. Результаты исследований набора данных по ключевым дескрипторам: лесовосстановление, лесоразведение, облесение, обезлесение: № 2023624172: заявл. 23.11.2023: опубл. 04.12.2023 / Т.П. Новикова, Е.П. Петрищев, А.И. Новиков; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова".

5. Новикова, Т.П. Справочная информационная система FLR-Library для адаптивного лесовосстановления: кластерный анализ дескрипторов / Т.П. Новикова, А.И. Новиков, Е.П. Петрищев // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 3(51). – С. 164–179. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.3/12.

6. Справочная информационная система FLR-Library для адаптивного лесовосстановления: информационная модель / Т.П. Новикова, А.И. Новиков, В.И. Лисицын, Е.П. Петрищев // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 4(52). – С. 114–124. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.4/7.

7. Новикова, Т.П. Исследование набора технологических операций подготовки семенного материала хвойных пород для лесовосстановления / Т.П. Новикова // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11, № 4(44). – С. 150–160. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/13.

8. Novikova, T.P. The choice of a set of operations for forest landscape restoration technology / T.P. Novikova // Inventions. – 2022. – Vol. 7, No. 1. – DOI 10.3390/inventions7010001.

С.А. Евдокимова, доц., канд. техн. наук;
Т.П. Новикова, доц., канд. техн. наук
(ВГЛТУ, г. Воронеж, Россия)

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТИРОВАНИЯ ПО МОДЕЛЯМ IRT

В настоящее время тестирование [6,7] является популярной формой оценки знаний, но для повышения объективности результатов и качества тестирования необходимо их исследовать, т.к. задания должны соответствовать оцениваемым компетенциям и уровням подготовленности обучаемых.

Разработанная информационная система (ИС) обработки результатов тестирования использует современную теорию тестирования (IRT) [2,8], которая в отличие от классической теории позволяет сопоставлять уровни трудности заданий уровням подготовленности обучаемых на одной шкале [1].

В основе IRT лежат модели Г. Раша и А. Бирнбаума. Модель Г. Раша рассчитывает вероятности правильного ответа определенного тестируемого на определенное задание [2–4]:

$$P_j(\theta) = \frac{e^{1.7(\theta - \beta_j)}}{1 + e^{1.7(\theta - \beta_j)}},$$

$$P_i(\beta) = \frac{e^{1.7(\theta_i - \beta)}}{1 + e^{1.7(\theta_i - \beta)}},$$

где θ_i – уровень подготовленности тестируемых; β_j – уровень трудности тестовых заданий; P_{ij} – вероятность правильного ответа.

Модель А. Бирнбаума позволяет вычислять дифференцирующие способности заданий [2–4]:

$$P_j(\theta) = \frac{e^{1.7a_j(\theta - \beta_j)}}{1 + e^{1.7a_j(\theta - \beta_j)}},$$

где a_j – это дифференцирующая способность задания.

Расчет данных показателей позволяет сделать заключение о сбалансированности заданий по трудности, какие задания надо исключить из теста, а какие доработать.

Разработанная авторами информационная система оценки результатов тестирования выполняет следующие функции:

- расчет уровней сложности заданий и уровней подготовленности тестируемых по модели Г. Раша;
- построение характеристических кривых;
- расчет дифференцирующих способностей заданий теста;
- импорт результатов тестирования из таблицы MS Excel;
- экспорт вычисленных значений в таблицу MS Excel.

Модульная структура разработанной информационной системы приведена на рис. 1. Данные тестирования для обработки должны быть представлены в табличной форме, ячейка которой должна содержать оценку ответа на задание – 1 или 0 (правильно или неправильно). Многие обучающие системы, образовательные среды обеспечивают сохранение результатов тестирования в файл MS Excel, таблицу базы данных и другие табличные форматы [5]. Для их использования в разработанной ИС имеется модуль импорта данных, что позволяет избежать рутинного ввода данных тестирования. При импорте данных выполняется проверка их на корректность.

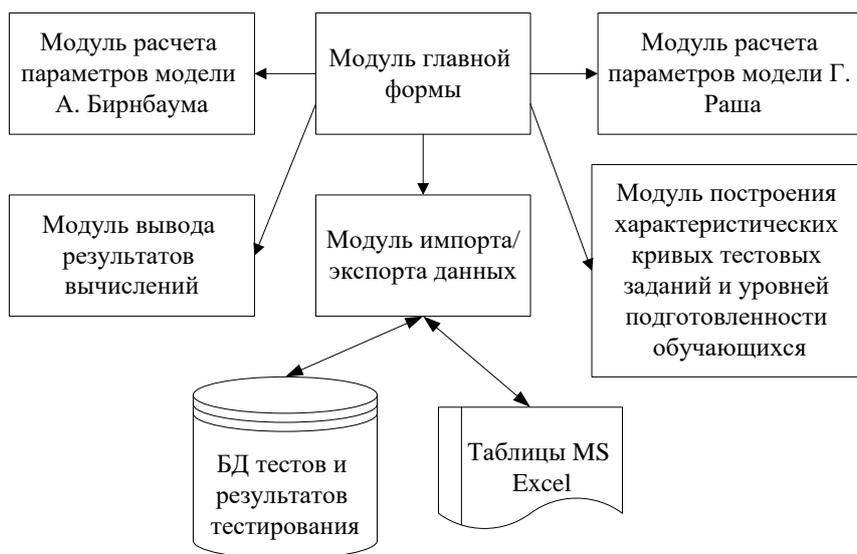


Рисунок 1 – Модульная структура информационной системы обработки результатов тестирования

ИС выполняет обработку данных тестирования по модели Г. Раша и выводит сумму оценок уровней трудностей заданий, по которой определяется сбалансированность заданий по трудности, а также диапазоны уровней подготовленности студентов и заданий (рис. 2). Для наглядности соответствия уровней подготовленности студентов и заданий можно выполнить построение характеристических кривых. В качественном тесте сумма оценок уровней трудностей заданий должна стремиться к нулю.

Дифференцирующие способности заданий теста, определяемые по модели А. Бирнбаума, показывают, какие задания надо доработать

или удалить из теста (рис. 3). Это прежде всего те задания, на которые студенты не могут ответить правильно, или наоборот, все обучающиеся отвечают правильно.

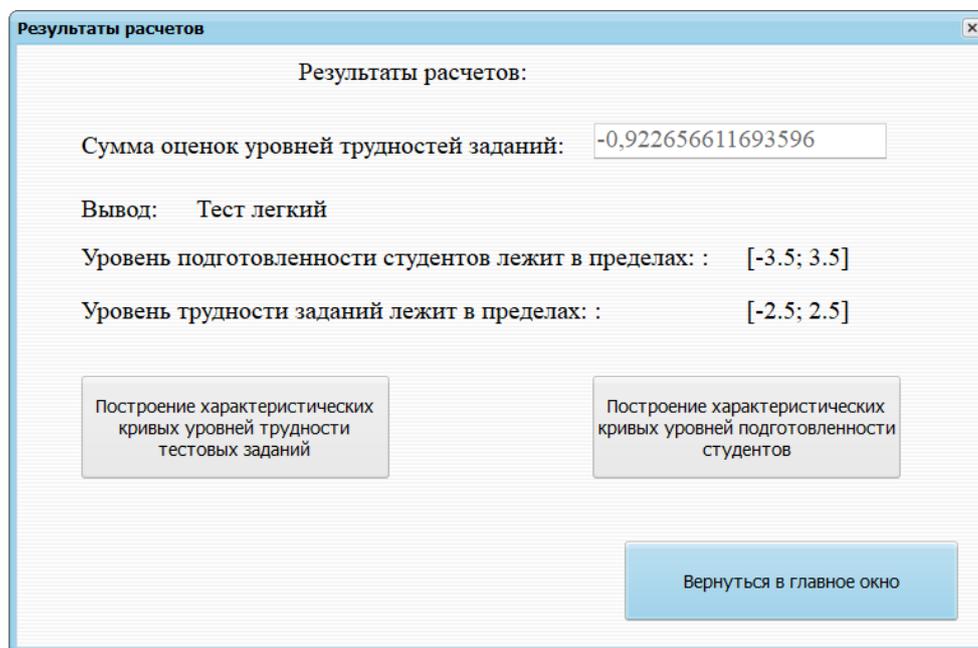


Рисунок 2 – Результаты расчетов по модели Г. Раша

Результаты расчетов:

Номер задания в тесте, j	Точный бисериальный коэффициент	Дифференцирующая способность заданий	Рекомендации
1	0,371	0,399	Задание надо доработать
2	0,582	0,717	Оптимальное задание
3	0,565	0,684	Оптимальное задание
4	0,606	0,761	Оптимальное задание
5	0,32	0,338	Задание надо доработать
6	0,419	0,461	Задание надо доработать
7	0,692	0,957	Оптимальное задание
8	0,659	0,876	Оптимальное задание
9	0,59	0,731	Оптимальное задание
10	0,67	0,902	Оптимальное задание
11	0,57	0,694	Оптимальное задание
12	0,532	0,628	Оптимальное задание
13	0,453	0,508	Оптимальное задание

Сохранить результат

Вернуться назад

Рисунок 3 – Расчет дифференцирующих способностей заданий

Преимуществом моделей Г. Раша и А. Бирнбаума является инвариантность рассчитанных оценок заданий теста от исходных данных. Поэтому вычисленные показатели заданий теста могут использоваться в дальнейшем при подборе заданий для оценки знаний у другой группы обучающихся или при проведении адаптивного тестирования, когда вопросы теста подбираются в зависимости от уровня подготовки учащихся.

Дальнейшим развитием созданной ИС является разработка модуля адаптивного тестирования, которое будет основано на результатах обработки тестов по моделям IRT.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евдокимова С.А., Новикова Т.П. Использование статистических методов классической теории тестирования для оценки качества тестовых заданий // Моделирование информационных систем и технологий: сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2022. – С. 105–114.

2. Евдокимова С.А., Кащенко М.А. Математико-статистическая оценка результатов теста на основе IRT // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 3. – С. 16–22. – DOI: 10.12737/2219-0767-2020-13-3-16-22.

3. Сигов А.С., Цветков В.Я., Рогов И.Е. Метод оценки сложности и тестирования в сфере образования // Russian Technological Journal. – 2021. – Т. 9, № 6 (44). – С. 64–72. – DOI: 10.32362/2500-316X-2021-9-6-64-72.

4. Евдокимова С.А. Алгоритм оценки результатов тестирования по моделям современной теории тестирования // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2022. – № 2. – С. 91–97.

5. Евдокимова С.А., Шматова А.Г. Информационно-обучающая система по дисциплине «Информационные технологии в лесном хозяйстве» // Моделирование систем и процессов. – 2017, т. 10, № 3, с. 4–9. – DOI: 10.12737/article_5a29283be24f62.76695491.

6. Аксенов, В.П. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для обучения и тестирования водителей / В.П. Аксенов, Т.П. Новикова // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 4–11. – DOI 10.12737/article_5b57794a4920a9.85327838.

7. Новикова, Т.П. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для обучения и тестирования операторов СІР-мойки / Т.П. Новикова, А.В. Данилов, А.И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 72–78.

8. Евдокимова, С.А. Исследование заданий теста по дисциплине "Основы бухгалтерского учета" по моделям IRT / С.А. Евдокимова, М.А. Кащенко, Т.П. Новикова // Моделирование информационных систем : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 19–20 мая 2021 года. – Воронеж: ВГЛУ, 2021. – С. 61–68. – DOI 10.34220/MIS_61-68.

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ О ВЫЗОВАХ ТРАНКИНГОВОЙ РАДИОСЕТИ DMR TIER III

В настоящее время во многих регионах Российской Федерации, а равно как и в Республике Беларусь, в связи с возросшими потребностями в качественной радиосвязи ощущается острая нехватка частотного ресурса в диапазонах VHF и UHF.

Особенно остро стоит вопрос в обеспечении оперативной радиосвязью таких отраслей, как гражданская авиация, железнодорожный транспорт, коммунальное хозяйство. Для организации оперативного управления транспортом есть несколько перспективных технологий, например PrivateLTE [1], однако для управления инфраструктурой гражданской авиации и транспорта в целом данные технологии пока обладают недостаточным уровнем предоставления услуг (SLA, OLA).

Также во многих источниках упоминается применение технологии MCPTT [2], однако в современных условиях падения пассажиропотока, вызванных пандемией CoVid-2019, например, применение затратных технологий, к тому же предусматривающих закупку услуг у операторов связи мы считаем неэффективными.

Исторически гражданской авиации, например, в СССР отводился диапазон VHF частотами 160 МГц для организации внутрипортовой радиосвязи. Данный диапазон после 1991 года перешел в управление Роскомнадзора (в Российской Федерации) и получение разрешений затруднилось не столько за счет формальных подходов к законодательству, а за счет возросшего числа заявителей.

Автор за 5 лет получил всего лишь 12 разрешений на право использования радиочастот и в целом это хороший результат. В данной статье автор рассматривает вопрос развертывания цифровой радиосети и ее оптимизации.

В ходе исследования были предложены новые методы обработки информации о вызовах, ориентированные на их функциональные особенности и которые не могут быть представлены стандартными средствами мониторинга и управления распространенных систем управления радиосетью.

В качестве примера была развернута сеть стандарта DMR Tier III, позволяющая распределять вызовы по базовым станциям динамически.

Программное обеспечение зарегистрировано установленным порядком и состоит из трех модулей и представлено (рис. 1):

- конвертер;
- аналитический модуль;
- модуль подготовки визуальной информации в виде HTML.

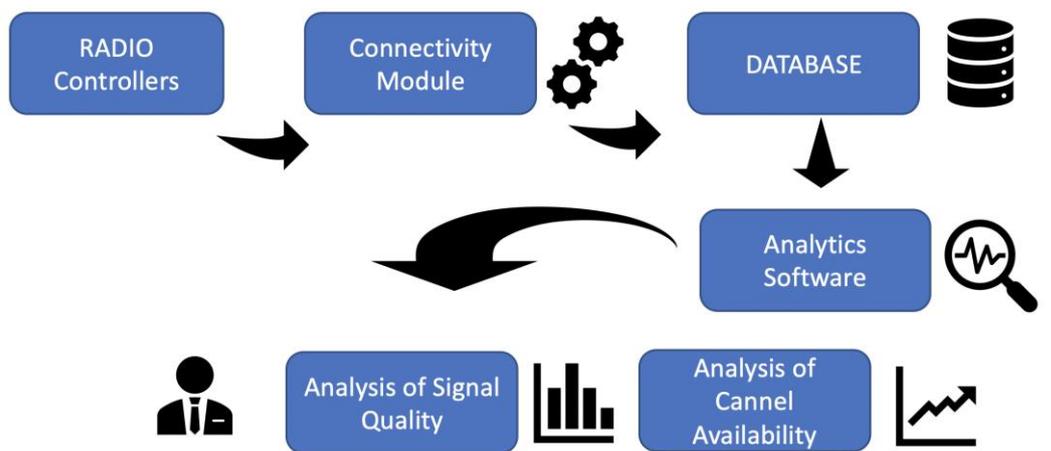


Рисунок 1 – Структурная схема модулей программного обеспечения анализа транкинговой сети

Программное обеспечение CMSS Data Analyser [3] написано на языке программирования Perl с использованием модулей:

- JSON;
- DBD::MariaDB;
- DATA::Dumper;
- CGI.

Блок-схема модуля конвертера приведена на рис. 2. В связи с особенностями работы программного обеспечения Motorola модуль вначале исправляет время (временную зону, которая на контроллере не может быть изменена – штат Иллинойс), затем при помощи модулей Perl конвертирует данные из формата системы в MariaDB для последующего анализа. Модуль запускается по стоп раз в сутки и создает таблицы по сменам (12 часов) для удобства анализа.

Аналитический модуль представляет функции вычисления проблемных сайтов, задержки в предоставлении канала абоненту и некоторые другие. Блок-схема аналитического модуля приведена на рис. 3.

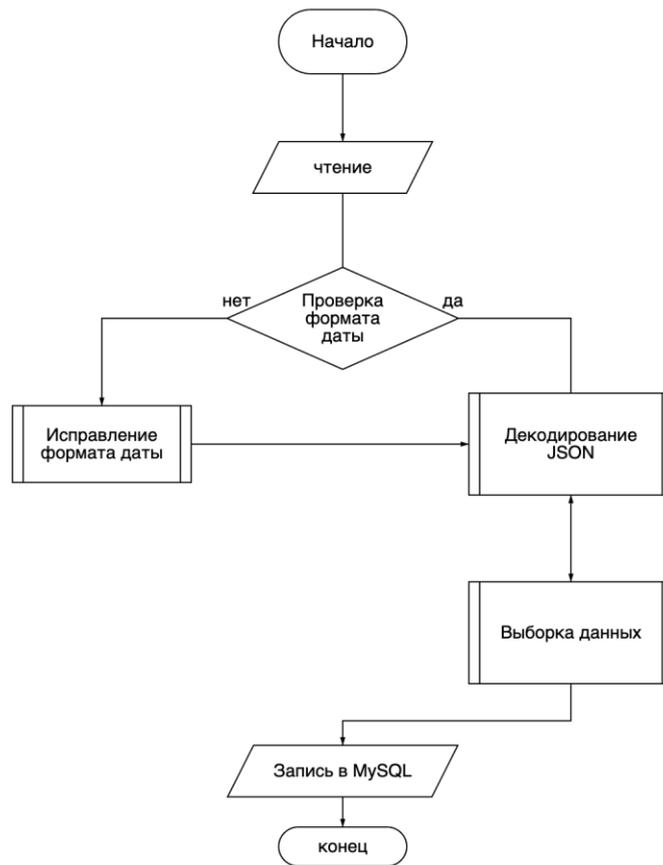


Рисунок 2 – Блок-схема модуля конвертера

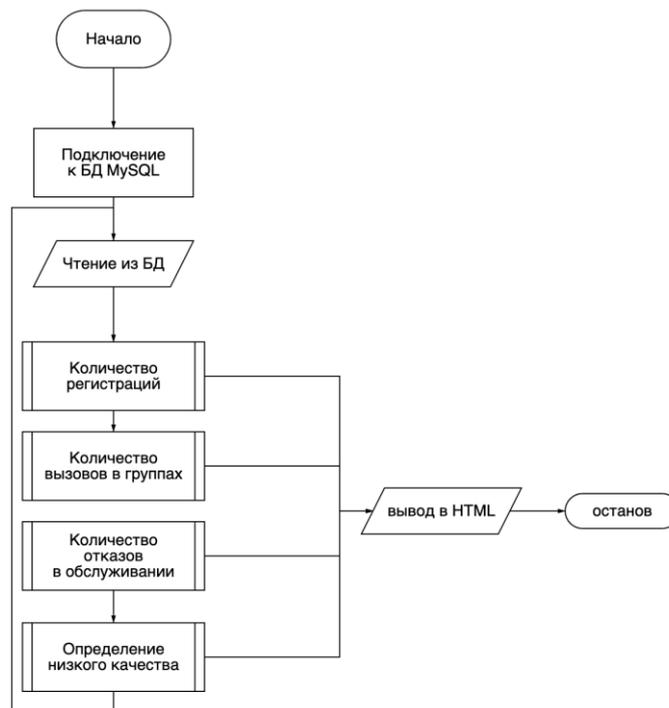


Рисунок 3 – Блок-схема аналитического модуля

Результатом работы аналитического модуля является формирование html кода по заданным параметрам, учитывая особенности работы DMR Tier III.

Также программное обеспечение предоставляет информацию в формате Excel для глубокого анализа о вызовах и сбоях. На рис. 4 приведена картина за сутки, в которой по всей сети, на тот момент состоящей из 7 базовых станций, при общем количестве переговоров более 20 000, отмечено 709 случаев постановки в очередь.

Данный модуль позволяет вычислить и визуализировать проблемный сайт, откорректировать его емкость и списки доступа абонентов для уменьшения количества постановок в очередь или отказов в обслуживании.

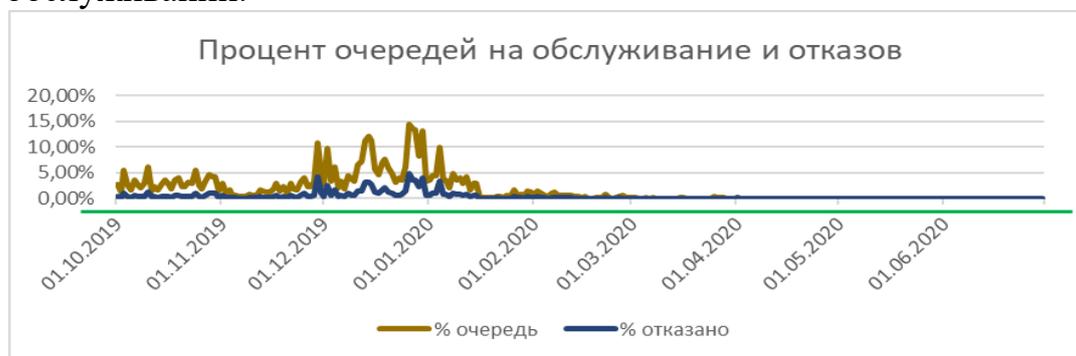


Рисунок 4 – Пример отчета об очередях и отказах в обслуживании

Таким образом, разработанное аналитическое программное обеспечение, в отличие от стандартных средств мониторинга и отчетов, например, Motorola Capacity Max (CMSS) [4] позволяет выявлять проблемные узлы сети, производить расчет нагрузки и прогноз распределения вызовов. Такой анализ позволит в условиях нехватки частотного ресурса осуществлять необходимое количество вызовов с установленным качеством и доступностью сервиса (SLA/OLA). Данный подход полностью отвечает концепции подхода «система как сервис», ранее представленный для авиационных сетей связи в статье «Управление разнородными авиационными системами как непрерывный сервис» [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Ekman et al., "Measurements to Study the Coexistence of Private LTE TDD Networks in 2.3 GHz Band," 2021 29th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Tampere, Finland, 2021, pp. 102–108, doi: 10.23919/FRUCT52173.2021.9435513.
2. W. Kampichler, D. Eier and F. Liberal, "Improvements in Operational Efficiency at Airports Using Lte Networks for Communications," 2022 Integrated Communication, Navigation and Surveillance Conference

(ICNS), Dulles, VA, USA, 2022, pp. 1–9, doi: 10.1109/ICNS54818.2022.9771537.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020662503 Российская Федерация. CMSS Data Converter / Конвертер данных CMSS : № 2020661140 : заявл. 28.09.2020 : опубл. 14.10.2020 / А.В. Ильченко.

4. Motorola Capacity Max [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.motorolasolutions.com/en_us/products/motrbo-systems/motrbo-private-systems/motrbo-capacity-max.html#taboverview.

5. Ильченко, А.В. Управление разнородными авиационными информационными системами коммуникаций как непрерывный сервис / А.В. Ильченко, В.В. Михайлов, М.А. Бутакова // Технологии разработки информационных систем трис-2021 : материалы XI Международной научно-технической конференции, пгт. Коктебель, 18–25 сентября 2021 года. – Таганрог: Южный федеральный университет, 2021. – С. 118–122.

УДК 621.396

Т.Б. Шарифуллин, маг.; В.В. Афанасьев, проф.
(КНИТУ-КАИ, г. Казань, Россия)

ВЛИЯНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КРЕСТ-ФАКТОРЫ СИГНАЛОВ ДИСКРЕТНО-НЕЛИНЕЙНОЙ TSUC СИСТЕМЫ

Современные системы связи с носителями информации на основе динамического хаоса активно применяются при конфиденциальной передаче информации. Для формирования шумоподобных псевдослучайных сигналов широко используют дискретно-нелинейные радиоэлектронные системы с хаотической динамикой [1].

Снижение крест-фактора (CF) формируемых псевдослучайных сигналов (определяемого отношением максимальное значение сигнала к его среднеквадратичному значению) повышает энергетическую эффективность радиопередающей аппаратуры прямохаотических систем связи на эффектах динамического хаоса [2-4]. Эффективно построение генераторов 3-D псевдослучайных сигналов на основе модифицированных управляемых нелинейных TSUC систем (Three-Scroll Unified Chaotic System) с хаотической динамикой [3].

Цель работы – обоснование выбора диапазонов изменения параметров управляемой дискретно-нелинейной TSUC системы с целью снижения крест-факторов формируемых псевдослучайных сигналов.

Динамика многолепестковой TSUC описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\dot{x} = a(y - x) + dxz, \quad \dot{y} = bx - xz + fy, \quad \dot{z} = cz + xy - ex^2, \quad (1)$$

где x, y, z – переменные системы; a, d, b, f, c, e – управляющие параметры системы [4].

После задания начальных значений x_0, y_0, z_0 , путем численного интегрирования системы (1) по процедуре Эйлера с интервалом временной дискретизации Δt , на протяжении заданного интервала T в работе производилось формирование массивов $x_i, y_i, z_i, i = 1, \dots, (N = T / \Delta t)$, дискретных отсчетов псевдослучайных сигналов переменных x, y, z системы TSUC [5].

Управление дискретно-нелинейной TSUC системой выполнялось изменением управляющих параметров a, d, b, f, c, e , при вариации Δt . Установлена зависимость крест-факторов CF формируемых псевдослучайных сигналов от выбора начальных значений x_0, y_0, z_0 , из-за возникающего переходного процесса установления устойчивого хаотического режима работы TSUC системы. Показано, что для устранения возможного аномального увеличения CF, необходим выбор x_0, y_0, z_0 , обеспечивающих сокращение продолжительности переходного процесса, а также стробирование формирования массивов x_i, y_i, z_i на время $T_{стр}$, превышающего в 1,5-2 раза длительность переходного процесса.

Исследовано влияние изменения a, d, b, f, c, e на параметры и статистические характеристики сигналов, формируемых управляемой TSUC системой при изменении Δt . Показано, что при сохранении тактовой частоты формирователя псевдослучайных сигналов, с увеличением Δt повышается быстродействие, но увеличивается погрешность численного решения системы (1). Обоснованы рекомендации по выбору Δt , обеспечивающего (100...300) дискретных отсчетов за период квазирезонансных колебаний $T_{кр}$ в TSUC системе. В табл. 1 представлены полученные зависимости крест-факторов CF сигналов x, y, z исследуемой дискретно-нелинейной системы, от изменения базового системного параметра a , при рекомендуемом выборе x_0, y_0, z_0 .

Таблица 1 – Зависимости CF сигналов TSUC системы от параметра a

Сигнал переменной	Параметр a					
	35	37	39	41	43	45
x	4.59	4.25	4.11	4.45	5.01	5.23
y	3.95	3.63	3.26	4.84	6.29	6.47
z	2.19	2.17	2.22	2.19	2.21	2.24

Характерные зависимости крест-факторов CF сигналов x, y, z исследуемой дискретно-нелинейной системы TSUC, от изменения базового системного параметра b , приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Зависимости CF сигналов TSUC системы от параметра b

Сигнал переменной	Параметр b					
	50	52	54	56	58	60
x	4.15	3.85	3.17	3.18	3.41	3.39
y	4.65	4.31	4.25	4.15	4.21	4.33
z	2.19	2.19	2.11	2.14	2.08	2.12

В табл. 3 представлены полученные зависимости крест-факторов CF сигналов x, y, z исследуемой дискретно-нелинейной TSUC системы, от изменения базового системного параметра f .

Таблица 3 – Зависимости CF сигналов TSUC системы от параметра f

Сигнал переменной	Параметр f					
	18	19	21	22	23	24
x	3.85	3.43	3.17	3.25	3.68	3.84
y	4.31	4.42	4.35	3.63	3.32	3.25
z	2.12	2.13	2.14	2.15	2.11	2.14

Полученные зависимости позволяют выбирать диапазоны возможных изменений параметров управляемой TSUC системы, с учетом предъявляемых требований к крест-факторам формируемых псевдослучайных сигналов на основе управляемой многолепестковой дискретно-нелинейной TSUC системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Максимов Н.А., Панас А.И. Генерация хаоса. – М.: Техносфера, 2012. – 424с.
2. Козел В.М., Подворная Д.А., Ковалёв К.А. Пик-фактор сигналов систем сухопутной подвижной службы 5G / Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (БГУИР), 18(6), 2020. – С. 5–10.
3. L. Pan, W. Zhou, J. Fang, D. Li. A new three-scroll unified chaotic system coined / International Journal of Nonlinear Science, Vol. 10, No. 4, 2010, pp. 462–474.
4. Ahmed, A.M., Al-Sawalha, M.M. Secure communication based on synchronization of uncertain-parameter three-scroll unified chaotic system / Nonlinear Dynamics, 85(3), 2016, pp. 1939–1951.
5. Шарифуллин Т.Б., Афанасьев В.В. Особенности моделирования формирователей шумоподобных сигналов на базе TSUCS с динамическим хаосом // VI НАУЧНЫЙ ФОРУМ «ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ» ТТТ-2023. XXV Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» ПТиТТ-2023. Казань, 22-24 ноября 2023 г. – Том 1. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2023. – С. 443–444.

ОСОБЕННОСТИ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ MULTI-SCROLL TSUC СИСТЕМЫ С ДИНАМИЧЕСКИМ ХАОСОМ

Важным направлением совершенствования конфиденциальной связи является применение радиоэлектронных устройств и систем с динамическим хаосом. Формирование псевдослучайных сигналов на базе нелинейных систем с хаотической динамикой открывает перспективные возможности синтеза новых носителей информации. Перспективно использование управляемых многолепестковых (multi-scroll) систем Чуа, SprottA, Jerk, TSUC, формирующих многомерные псевдослучайные сигналы [1–2]. Системы связи на основе динамического хаоса чувствительны к воздействию возмущающих факторов, важна оптимизация выделения формируемых псевдослучайных сигналов в условиях действия помех. В современной радиотехнике широко применяют подходы к фильтрации регулярных сигналов, основанные на корреляционных методах обработки. Оценка качества обработки псевдослучайных сигналов многолепестковых (multi-scroll) систем TSUC с помощью квазиоптимальной фильтрации на основе корреляционной обработки является важной задачей, выдвигаемой инженерной практикой.

Целью работы является оценка эффективности квазиоптимальной фильтрации на основе корреляционной обработки сигналов дискретно-нелинейной multi-scroll системы TSUC при воздействии комплекса помех.

Моделирование корреляционной обработки сигналов дискретно-нелинейной multi-scroll системы TSUC [2] с переменными x , y , z и параметрами a , d , b , f , c , e :

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= a(y - x) + dxz, \\ \frac{dy}{dt} &= bx - xz + fy, \\ \frac{dz}{dt} &= cz + xy - ex^2,\end{aligned}\tag{1}$$

проведено на основе программного пакета MathCad. Для создания модели формирования сигналов дискретно-нелинейной multi-scroll

TSUC системы, применен численный метод решения нелинейных дифференциальных уравнений (1). Шаг дискретизации Δt , при решении системы (1) методом Эйлера, выбирался из условия $T_{кр} / \Delta t \geq 120$, где $T_{кр}$ – период квазирезонансных колебаний TSUC системы [3].

Разработаны средства оценки статистических характеристик сигналов, формируемых системой (1), с численной оценкой спектральных и корреляционных характеристик сигналов и построением фазовых портретов при изменении параметров a, d, b, f, c, e TSUC системы.

При моделировании корреляционного накопления, реализации ВЧ аддитивных помех формировались с помощью встроенной в MathCad функции, возвращающей вектор случайных значений с равномерным законом распределения. Реализации НЧ помех формировались путем НЧ фильтрации, с использованием скользящего среднего с изменяемым окном сглаживания. Корреляционные интегралы рассчитывались численным методом трапеций, интервал ΔT корреляционного накопления нормировался к периоду квазирезонансных колебаний, путем оценки $N_T = \Delta T / T_{кр}$.

Полученные характерные зависимости значений корреляционных интегралов $R(N_T)$ переменной Z от нормированной величины N_T интервала обработки, при изменении отношения С/Ш, представлены на рис. 1, для случаев действия аддитивных ВЧ шумов (а), и НЧ шумов (б).

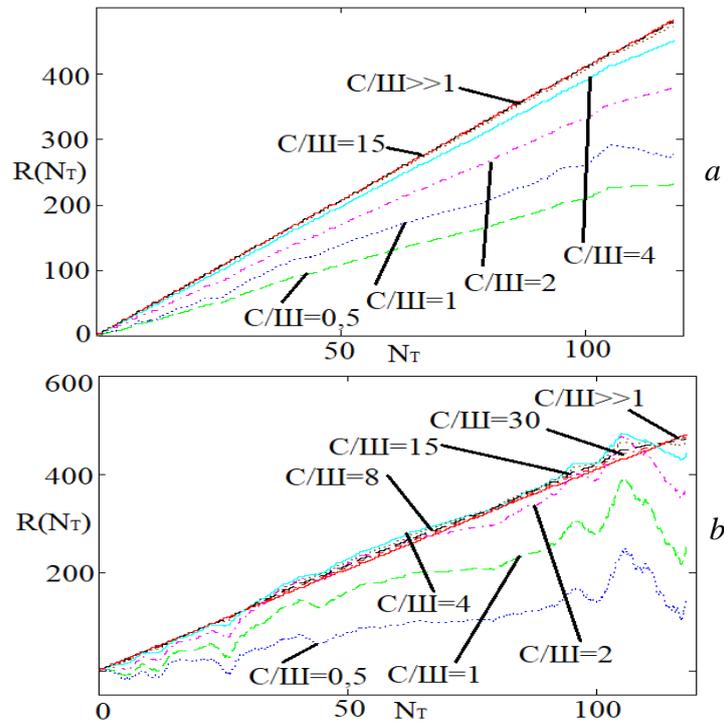


Рисунок 1 – Зависимости значений $R(N_T)$ от N_T

Результаты выполненного моделирования и исследования эффективности корреляционной обработки сигналов дискретно нелинейной multi-scroll TSUC системы в условиях действия комплекса аддитивных помех, дают возможность оценить влияние изменений характеристик сигнально-помеховой обстановки на корреляционное накопление, а также обосновать выбор порогов при обнаружении информационных сигналов в системах передачи информации на основе многолепестковых TSUC систем с динамическим хаосом.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.С. Дмитриев, А.И. Панас. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. – М.: Изд-во Физматлит, 2002. – 252 с.
2. Ahmed A. M., Al-Sawalha M. M. Secure communication based on synchronization of uncertain-parameter three-scroll unified chaotic system / *Nonlinear Dynamics*, 85(3), 2016, pp. 1939–1951.
3. Шарифуллин Т.Б., Афанасьев В.В. Формирование псевдослучайных сигналов с варьируемыми пик-факторами на основе многолепестковой дискретно-нелинейной TSUCS / VI научный форум «Телекоммуникации: теория и технологии» ТТТ-2023. Физика и технические приложения волновых процессов ФиТПВП-2023: материалы XX Международной научно-технической конференции. Казань, 22 – 24 ноября 2023 года. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2023. – Т. 3. – С. 74–75.

УДК 316.774

С.А. Наурызбаева, ст. преп.
(КАЗАТУ им. С. Сейфуллина, г. Астана, Казахстан)

МОДЕЛИ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Под каналами связи понимаются среда распространения сигнала и технические средства, с помощью которых осуществляется передача информации от источника до получателя сообщения. Каналы связи могут быть линейными и нелинейными. Канал связи-совокупность одной или нескольких физических сред передачи и каналообразующего оборудования, которые обеспечивают передачу данных между взаимодействующими системами в виде сигналов, соответствующих типу среды. Точное математическое описание любого реального канала передачи данных обычно весьма сложное [1]. Вместо этого используют упрощенные математические модели, которые позволяют выявить важнейшие закономерности реального канала.

В физическом канале сигнал $S(t)$ подвергается воздействию шума $n(t)$ (рис. 1) [2].



Рисунок 1 – Структурная схема физического канала в общем виде

Выделяют два основных вида моделей каналов передачи данных. Непрерывные (аналоговые) каналы и дискретные (цифровые) каналы. Непрерывные каналы имеют непрерывный сигнал $S(t)$ на входе и непрерывный сигнал $R(t)$ на выходе. Эти сигналы являются непрерывной функцией от времени. Дискретные каналы имеют на входе дискретные кодовые символы x_j , а на выходе – дискретные кодовые символы y_i , в общем случае не совпадающие с x_i [3]. Дискретный канал-канал связи, используемый для передачи дискретных сообщений. Самой простой, но практически очень важной физической моделью дискретного канала связи является модель канала с постоянными параметрами и аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ, англ. AWGN).

В начале 90-х гг. XX века было определено, что для описания распределения ошибок в коммуникационном канале с памятью может быть использована модель Г. Поля, используемая для моделирования распространения заболеваний.

Канал Поля является дискретным двоичным аддитивным каналом связи, в котором сигнал на выходе $y_i \in \{0,1\}$ равен сумме по модулю 2 соответствующих ему сигнала на входе $x_i \in \{0,1\}$ и бита ошибки $z_i \in \{0,1\}$: $y_i = x_i \oplus z_i$, $i = 1,2,3$.

Не реалистичность канала Поля заключается в его бесконечной памяти – каждый «вытащенный из урны» красный шар, хоть первый, хоть миллионный, приводит к одному и тому же увеличению количества красных шаров [4]. В связи с этим в работе [5] предлагается модель канала Поля с конечной памятью, в которой влияние каждого вытащенного шара ограничено по времени.

Модель канала АБГШ широко применяется при расчете и моделировании многих систем радиосвязи, особенно при моделировании каналов спутниковой и дальней космической связи [6].

Поскольку в помехоустойчивом кодировании работа производится с дискретными данными, при проведении моделирования с использованием канала АБГШ (и других аналоговых каналов) перед передачей закодированных данных в канал необходимо проводить процедуру манипуляции, а после приема данных из канала – обратную

процедуру (рис. 2). При работе с двоичными данными часто используется двоичная фазовая манипуляция.

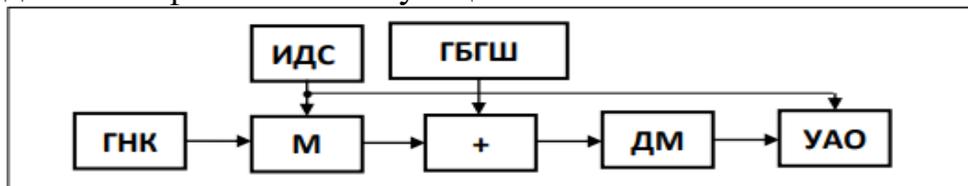


Рисунок 2 – Блок-схема физической модели канала связи с постоянными параметрами и аддитивным белым гауссовским шумом

На рис. 2 обозначено:

ИДС – источник дискретного сигнала;

ГНК – генератор несущего колебания;

М – манипулятор;

ГБГШ – генератор белого гауссовского шума;

+ – сумматор сигнала и АБГШ;

ДМ – демодулятор сигналов;

УАО – устройство анализа ошибок.

Такую модель канала связи используют все без исключения разработчики любой аппаратуры связи, проводя лабораторные испытания разработанных модемов и сравнивая их помехоустойчивость с потенциально достижимой. Одним из параметров, используемых для оценки и сравнения моделей каналов передачи данных является вероятность безошибочного участка, определяемая, как вероятность появления последовательности m безошибочных бит, за которыми следует бит с ошибкой [6].

Сигналы можно классифицировать по форме, информативности и характеристикам. Из простых по форме сигналов в электросвязи наибольшее применение находят гармонические и импульсные сигналы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория электрической связи: учебное пособие / К.К.Васильев, В.А. Глушков, А.В. Дормидонтов, А.Г. Нестеренко; под ред. К.К. Васильева. – Ульяновск : УлГТУ, 2008. – ISBN: 978-5-9795-0203-8.

2. Золотарёв, В.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: справочник / В.В. Золотарёв, Г.В. Овечкин ; под ред. чл.-корр. РАН Ю.Б. Зубарева. – М.: Горячая линия–Телеком, 2004.

3. Финк, Л.М. Теория передачи дискретных сообщений / Л.М. Финк. – М. : «Сов. радио», 1970.

4. Jeruchim, M.C. Simulation of Communication Systems: Modeling, Methodology and Techniques / M.C. Jeruchim, P. Balaban,

K.S. Shanmugan. Information Technology: Transmission, Processing and Storage. – [S. 1.] : Springer US, 2006. – ISBN: 9780306469718.

5. Massey, J.L. Deep-Space Communications and Coding: A Marriage Made in Heaven / J.L. Massey // in Proceedings of the 1992 DLR Seminar Advanced Methods for Satellite and Deep Space Comm. – [S. 1.] : Springer, 1992. – P. 1–17.

6. Similarity of Discrete Gilbert-Elliot and Polya Channel Models to Continuous Rayleigh Fading Channel Model : Rep. / National Chiao Tung University ; Executor: Pen Ting Sun. – Taiwan 30050, R.O.C. : 2002. – June.

УДК 004.891.2

Д.В. Виноградов, магистрант;

Е.Ю. Косенко, доц., канд. техн. наук

(Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

НЕЙРО-НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с применением нечёткой логики, нейронных сетей и математических методов моделирования для прогнозирования потребления электрической энергии. Основной целью изучения и внедрения данных инструментов прогнозирования является усовершенствование процессов управления потреблением электроэнергии, что позволит снизить потери и повысить экономическую эффективность использования электроэнергии. В статье уделяется особое внимание нечетким методам представления и обработки исходных данных, позволяющим адаптироваться к неопределённости и сложности систем электроснабжения.

Искусственный интеллект, нейронные сети, нечёткая логика, прогнозирование, потребление, электроэнергия, управление, нечёткая модель, алгоритм.

Прогнозирование потребления электроэнергии – это важнейшая задача энергетической отрасли, поскольку энергетические компании и потребители нуждаются в точных прогнозах для планирования и оптимизации производственных процессов. Нечеткие методы представления и обработки исходных данных могут быть использованы для прогнозирования и потребления электроэнергии, так как они предназначены для обработки нечёткой информации, которая может учиты-

вать косвенные параметры, связанные с погодой, временем суток, днями недели и другими переменными факторами [1].

Сегодня в условиях реформирования электроэнергетики Российской Федерации важнейшей задачей является формирование новых отношений между субъектами рынка и, в том числе, четко отлаженных взаимоотношений между потребителем и энергоснабжающей организацией. Рынок должен создать соответствующую действительности стоимостную оценку потребляемой электроэнергии, которая способствовала бы максимально эффективному функционированию энергосистемы. Поэтому все более актуальной становится проблема качественного прогнозирования, анализа и управления электрической нагрузкой как в рамках энергосистемы в целом, так и для отдельно взятых групп электропотребителей. Прогноз нагрузки также необходим для оптимизации эксплуатационного состояния мощной системы в условиях потока нагрузки и планирования перетоков мощности [2].

К прогнозированию режимов энергопотребления приходится прибегать еще и потому, что изменения во времени электрической нагрузки представляют собой случайные процессы, то есть функции, случайным образом зависящие от времени, а также от ряда внутренних и внешних факторов [3].

Проведенный анализ показал, что электрическая нагрузка – непостоянный (динамический) процесс, доминирующими причинно-следственными факторами которого являются время суток и погодные условия. Зависимость нагрузки от времени отражает существование ежедневного образца графика нагрузки. Среди погодных факторов, воздействующих на нагрузку, приоритетным является температура.

В настоящее время разработано много различных аналитических методов для прогнозирования электрической нагрузки. К ним относятся следующие методы: авторегрессия, обобщенное экспоненциальное сглаживание, факторный анализ и др. [4].

Однако, не смотря на многообразие существующих методов прогнозирования электрической нагрузки, точное моделирование является затруднительным из-за нелинейных и сложных отношений между нагрузкой и факторами, от которых она зависит. Кроме этого, некоторые математические модели нагрузки представляют динамику изменения электрической нагрузки, используя понятие временного ряда. Эти модели не принимают во внимание косвенную информацию, связанную с погодой, и пробуют предсказать будущую нагрузку, используя предыдущие значения.

В этой связи помимо упомянутых методов прогнозирования нагрузки в целесообразно применять метод, основанный на нечеткой

логике. Нечеткая логика выделяется из теории нечетких множеств и представляет собой разновидность непрерывной логики, в которой логические формулы могут принимать истинностные значения между 1 и 0. Следует отметить, что результат, полученный в системах с нечеткой логикой, также представляется неточно (нечетко), например, в виде нечеткого интервала вида (рис. 1):

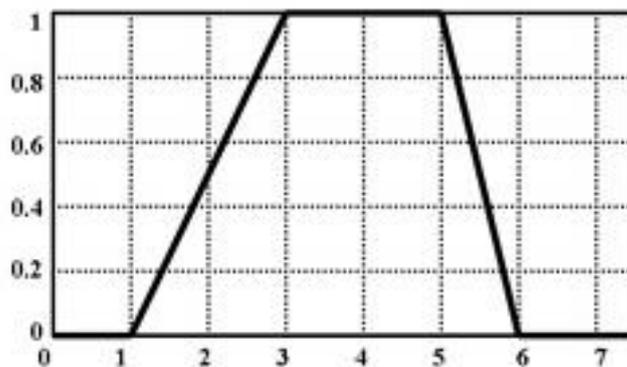


Рисунок 1 – Представление данных в виде нечеткого интервала

Такое представление позволит расширить возможности представления исходных данных.

Для того чтобы получить выходные значения, которые могут быть использованы в информационно-советующих системах, применяются системы нечеткого логического вывода. Процесс нечеткого вывода представляет собой некоторую процедуру или алгоритм получения нечетких заключений на основе нечетких предпосылок или условий. Системы нечеткого вывода позволяют решать задачи принятия решений в формате выходных данных, приближенных к естественному языку, например, «хорошо», «плохо» и т. д. [2].

Современные требования практики к точности прогнозных расчетов приводят к тому, что ранее разработанные методы не всегда обеспечивают требуемую точность результатов. Поэтому в настоящее время развиваются новые подходы к прогнозированию электрической нагрузки. К таким направлениям относятся системы, оперирующие, например, с нечеткими алгоритмами, нейронными сетями и/или их комбинациями [3].

Последовательность этапов проектирования информационно-советующей системы прогнозирования энергопотребления промышленного предприятия, основанной на нечётких алгоритмах и нейронных сетях, следующий:

Этап 1. Сбор данных – для дальнейшей разработки и воплощения в жизнь нечётких алгоритмов, предназначенных для прогнозирования потребления электрической энергии предприятия необходимо собрать статистические данные, связанные с энергопотреблением

данного объекта: потребление электроэнергии за прошлый расчётный период и показатели вырабатываемой мощности. Источниками такого рода информации служат автоматизированные системы учёта энергопотребления, данные энергоснабжающих организаций, статистика производства, экономические показатели – увеличение или уменьшение объёмов выпускаемой продукции [4]. Выбор необходимых данных зависит от типа прогнозирующей системы их использующей. В табл. 1 приведен пример собранных данных (профиль нагрузки) потребления электроэнергии, промышленного производства за двое суток, полученные из интеллектуальных приборов учёта, необходимые для составления краткосрочного прогноза потребления электроэнергии промышленного предприятия.

Таблица 1 – Часовой профиль нагрузки

Почасовая нагрузка за первые сутки				Почасовая нагрузка за вторые сутки			
Время	Р, МВт	Время	Р, МВт	Время	Р, МВт	Время	Р, МВт
00-01	35,78	12-13	34,27	00-01	32,61	12-13	35,23
01-02	32,72	13-14	37,06	01-02	32,96	13-14	32,62
02-03	32,99	14-15	33,68	02-03	36,02	14-15	33,46
03-04	36,11	15-16	32,99	03-04	33,42	15-16	35,87
04-05	33,23	16-17	34,62	04-05	32,91	16-17	32,80
05-06	33,06	17-18	33,38	05-06	34,94	17-18	33,12
06-07	35,70	18-19	32,77	06-07	33,84	18-19	35,94
07-08	33,54	19-20	34,98	07-08	32,50	19-20	33,25
08-09	30,02	20-21	34,99	08-09	34,50	20-21	32,91
09-10	28,53	21-22	32,64	09-10	34,78	21-22	34,99
10-11	32,53	22-23	33,01	10-11	32,93	22-23	31,12
11-12	33,54	23-24	35,78	11-12	34,24	23-24	28,50

Этап 2. Предварительный анализ – по окончании первого этапа необходимо произвести предварительный анализ полученной информации, который включает проверку данных на наличие ошибок и неточностей, а также анализ временных рядов, для определения зависимостей между энергопотреблением и факторами, включая температура окружающей среды, величина осадков, сила ветра, освещённость в выбранный промежуток времени, время суток, дни недели, выходные и праздничные дни.

Этап 3. Разработка модели – на основе полученной информации необходимо разработать нечёткую модель, которая будет положена в основу создаваемой информационно-советующей системы прогнозирования. Эта модель должна учитывать не только вышеупомянутые параметры, но и использовать нечёткие алгоритмы, учитывающие вероятность развития определённых косвенных событий (температура окружающей среды, величина осадков, сила ветра, освещённость в выбранный промежуток времени, время суток, дни недели, выходные

и праздничные дни и т.д.). Нечеткая нейронная сеть является одной из видов систем искусственного интеллекта, которая объединяет в себе основные свойства присущие нейронным сетям и системам с нечеткой логикой. Практическая реализация нечетких нейронных сетей для решения задачи суточного прогнозирования электрической нагрузки выполняется в пакете Fuzzy Logic Toolbox системы Matlab. В этом пакете нечеткие нейронные сети реализованы в форме адаптивной системы нейронечеткого вывода ANFIS. [5]

Проведенный анализ показал, что при создании системы, использующей нечёткие алгоритмы и нейронные сети для прогнозирования потребления электроэнергии целесообразно применять два наиболее распространенных и чаще всего применяемых на практике, алгоритма нечеткого вывода: алгоритм Мамдани и алгоритм Сугено. В процессе тестирования систем, созданных с применением данных алгоритмов, показано, что алгоритм Сугено является наиболее приемлемым инструментом, подходящим для решения данной задачи. Это связано с тем, что нечеткая нейронная сеть с алгоритмом Сугено показывает наименьшие ошибки обучения и прогнозирования, что является ключевым фактором в вопросе формирования системы [6]. На рис. 2 приведен пример создания модели в Matlab на базе ANFIS- редактора.

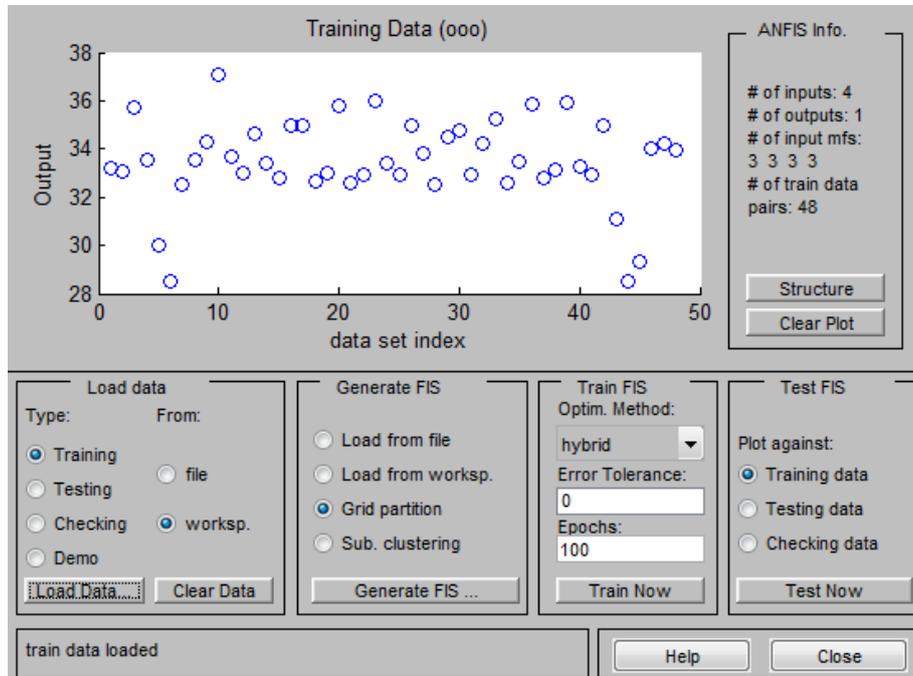


Рисунок 2 – Нечёткая модель на базе ANFIS- редактора

Этап 4. Разработка системы – после того, как модель прогнозирования и потребления электроэнергии будет разработана, необходимо провести разработку самой информационно-советующей системы,

которая будет использовать данную модель для прогнозирования энергопотребления предприятия. На рис. 3 представлена архитектура полученной модели нечёткой системы.

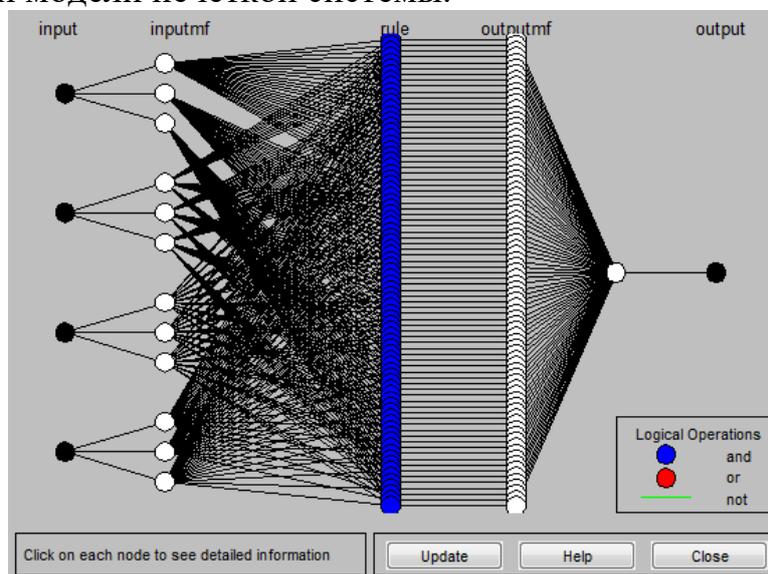


Рисунок 3 – Архитектура модели нечёткой системы

В этой нечеткой нейронной сети для каждой входной переменной выбрано две функции принадлежности. Каждая из этих функций принадлежности является трапециидальной. Для выходного параметра был выбран тип постоянной функции принадлежности. На основе сравнения фактических значений и значений на выходе модели нечёткой нейронной сети, рассчитаны ошибки прогнозирования нагрузки для рабочих дней [7].

Этап 5. Тестирование и корректировка – после завершения разработки модели и системы необходимо провести тестирование и корректировку на реальных данных в производственных условиях с целью определения эффективности и точности прогнозирования и потребления электроэнергии.

В результате выполнения данной последовательности этапов получим информационно-советующую систему прогнозирования и потребления электроэнергии, основанную на синтезе нечётких алгоритмов и нейронной сети, которая обеспечит существенное повышение эффективности энергоснабжения и оптимизацию производственных процессов промышленного предприятия.

Прогнозирование спроса на электроэнергию является ключевой задачей для эффективной эксплуатации и планирования энергосистемы. Благодаря использованию для прогнозирования электрических нагрузок отлаженной нечетко-нейронной системы прогнозирования, реализованной в корректно спроектированной программной оболочке

информационно-советующей системы, позволит обеспечить достаточно высокую точность и скорость прогнозирования нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаюхов, Т.Т. Математическое моделирование влияния внешних факторов на параметры электропотребления / Т.Т. Шаюхов // Наукoведение. – 2017. – № 9.

2. Lozinskaia, A., Electricity consumption forecasting for integrated power system with seasonal patterns / A. Lozinskaia, A. Redkina, E. Shenkman // Applied Econometrics – 2020. – № 5. – С. 25.

3. Виноградов, Д.В. Автоматизация объектов электроэнергетики: состояние и пути развития / Д.В. Виноградов // Информационные технологии, системный анализ и управление (Итсау-2022): Сборник трудов XX Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Ростов-на-Дону, Таганрог, 01–03 декабря 2022 года. – Ростов-на-Дону, Таганрог: ДиректСайнс, 2022. – С. 329–332.

4. Бугаец, В.А. Краткосрочное прогнозирование электропотребления энергорайонов с учетом влияния метеофакторов: дис. канд. техн. наук. Новочеркасск. – 2015. – 241 с.

5. Карпенко, С.М. Эконометрическое моделирование энергопотребления с учетом влияния производственных факторов / С.М. Карпенко, Н.В. Карпенко // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2020. – № 1. – С.14–17.

6. Статья «Методы прогнозирования электропотребления» / Официальный сайт «Евразийский союз учёных». Режим доступа: <http://euroasia-science.ru/> – Дата доступа: 10.11.2023.

7. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети: 2-е издание. – 2020. – 380 с.

УДК 004.04, 004.41, 001.5

А.Д. Атрошкина, магистрант (БГЭУ, г. Минск);

Е. А. Севрук, специалист (ОАО «Гипросвязь», г. Минск)

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СБОР ДАННЫХ О НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЯХ

Введение. На современном этапе развития общества основным результатом исследовательской деятельности считается новое научное знание, содержание которого излагается преимущественно в опубликованных научных трудах. Именно поэтому задачи корректного сбора, обработки и подсчета информации о публикациях выходят на пер-

вый план в большинстве научно-исследовательских учреждений. Для решения указанных задач может использоваться автоматизированный сбор данных о научных публикациях, внедрение которого позволит собрать показатели результативности ученых, осуществить их мониторинг и комплексный учет.

В данной статье представлены механизмы автоматизированного сбора данных о научных публикациях на основании количества и частоты научных публикаций в социальной сети ResearchGate и научной электронной библиотеки КиберЛенинка.

Создание механизмов автоматизированного сбора данных о научных публикациях. При написании механизмов сбора информации ключевыми факторами выступали: цифровая форма представления информации и концепция «Открытая наука».

Первый механизм создан для платформы ResearchGate, структура и особенности которой заключаются в открытом доступе, высокой активности ученых на ресурсе, а также разнообразии цифрового контента, которое выражено в возможностях публикации авторами различного типа научно-технической информации (НТИ): предварительная статья (препринт), статья, тезис, презентация, наборы данных [1]. На данный момент на платформе ResearchGate зарегистрированы более 25 млн ученых из 192 стран мира, а совокупный объем материалов составляет 160 млн страниц НТИ [2].

Для разработки данного механизма были выбраны следующие технологии: язык программирования Python, система управления базами данных (СУБД) SQLite3, а также готовые библиотеки (Selenium, BeautifulSoup4 и др.). Также для визуализации структуры и динамики тематических цепочек платформы ResearchGate была использована библиотека Pyvis, включая программный пакет Networkx [3].

Схема хранения данных в базе данных представлена на рис. 1.

id	parent_id	name	link	count_publication	depth
1	0	Medicine	https://www.researchgate.net/topic/Medicine	585422	0
2	1	Allied Health Science	https://www.researchgate.net/topic/Allied-Health-Science	674	1
3	2	Allied Health Personnel	https://www.researchgate.net/topic/Allied-Health-Personnel	10000	2
4	0	Psychology	https://www.researchgate.net/topic/Psychology	804869	0
5	4	Clinical Psychology	https://www.researchgate.net/topic/Clinical-Psychology	207673	1
6	5	Mental Illness	https://www.researchgate.net/topic/Mental-Illness	513527	2

Рисунок 1 – Пример хранения результата в базе данных

Во время разработки механизма был выявлен ряд проблем. Например, в некоторых научных темах отсутствует количество публикаций, цепочки научных тем содержат в себе зацикливание, кроме этого, зачастую по гиперссылке открываются страницы, которых не существует или были удалены.

Данная разработка позволила получить следующие результаты:

- количество тематик публикаций – 36 566;
- 1910 родительских разделов (тематик);
- среднее время обработки одной тематической ветви составляет 30 сек [1].

Помимо это была разработан механизм автоматизированного сбора данных о научных публикациях с платформы КиберЛенинка, которая представляет собой научную электронную библиотеку, построенную на парадигме открытой науки (Open Science), а также обеспечивает бесплатный оперативный доступ к научным публикациям в электронном виде. Количество посещаемости данной платформы достигает 72 млн человек [4].

Для разработки данной системы были выбраны следующие технологии: язык программирования JavaScript, программная библиотека Node.js, система управления базами данных (СУБД) SQLite3, а также готовые библиотеки (axios, cheerio) [5, 6].

В данной электронной библиотеке присутствует разделение научных публикаций на разделы: медицинские науки, естественные и точные науки, техника и технологии, гуманитарные науки, сельскохозяйственные науки, социальные науки. Помимо этого, каждый раздел включает в себя подразделы (всего 36).

База данных для хранения информации, полученной при автоматизированном сборе, хранит в себе следующие данные: название подраздела, название статьи, ссылка на статью, имена авторов, год публикации статьи, количество просмотров статьи, количество скачиваний, название журнала, в котором размещена данная статья, ключевые слова, время сбора данных, а также дополнительные данные о статье: ВАК, Scopus, ESCI, RSCI, CAS. Схема хранения данных в базе данных представлена на рис. 2.

direction	name	link	authors	year	views
Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
Фундаментальная ...	Проблемы внедрения ...	/article/n/problemy-vnedreniya-...	Вальдман Е.А.	2008	3833
Фундаментальная ...	Нейроиммунологические ...	/article/n/neyroimmunologicheski...	Гайнетдинова Д.Д.,Хакимова ...	2011	4479
Фундаментальная ...	Поиск и изучение ...	/article/n/poisk-i-izuchenie-...	Баженов Л.Г.	2009	2890
Фундаментальная ...	Повышение малыми дозам...	/article/n/povyshenie-malymi-...	Городецкая И.В.	2004	5225
Фундаментальная ...	Онкоиммунология, ...	/article/n/onkoimmunologiya-...		2009	9668

downloads	journal	keywords	bak	scopus	esci	rsci	cas	time
Filter	Filter	Filter	Fil...	Filter	Filt...	Filt...	Fil...	Filter
429	Ремедиум. Журнал о ...	ФАРМАКОГЕНЕТИКА,ИССЛЕД...	1	0	0	0	0	2023-12-17 16:13:43
615	Медицинская ...	КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ДЕТСКИЙ...	1	1	0	0	0	2023-12-17 16:13:43
339	Сибирский ...		1	1	0	0	0	2023-12-17 16:13:43
560	Вестник Витебского ...	тиреоидные ...	0	0	0	0	0	2023-12-17 16:13:43
1080	Медицинская ...		1	1	0	0	0	2023-12-17 16:13:44

Рисунок 2 – Пример хранения результата в базе данных

На данный момент собрано:

– 29 подразделов из 36;

– 1 933 130 научных статей.

Использование полученных данных. Данные о научных публикациях, полученных в ходе автоматизированного сбора, возможно использовать преследуя различные цели. Рассмотрим их более подробно:

1. Для *анализа публикационной активности ученых* (по количеству публикации). С помощью полученной информации возможно оценить эффективность научных исследований и выявить наиболее активных ученых в определенной научной области.

2. Для *анализа популярности научных статей* (по количеству просмотров, скачиваний и т.д.). Появляется возможность оценить в реальном времени, что интересует научную общественность, тем самым это поможет авторам научных статей адаптировать свои работы под «запрос» аудитории и определить перспективные направления для дальнейших исследований. Помимо этого, доступно выделение трендовых тематик по годам, что дает возможность проследить тенденцию изменения интересов исследователей.

3. Для *анализа эффективности научных журналов* (по количеству публикаций в журнале), путем сравнения количества просмотров и скачиваний статей, которые были опубликованы в различных журналах. Данные, полученные в ходе указанного анализа, отразят журналы, пользующиеся наибольшей популярностью среди научного сообщества.

4. Для *анализа тенденций в научных исследованиях* (по изменению тематик научных публикаций, используемых методов исследований и т.д.). С помощью данного анализа, возможно выявить новые направления научных исследований и определить их перспективы, что позволяет отразить тенденции в развитии конкретной области исследований.

Помимо анализа вышеуказанных показателей, данные можно применять для *создания профилей ученых и научных журналов*. В перспективе профиль может содержать в себе информацию о количестве публикаций, рейтинге журнала, уровне цитируемости и т. д. Кроме этого, для авторов, создание таких профилей облегчит поиск новых публикационных площадок.

Вместе с тем, с помощью полученных данных возможно создать *рекомендации по чтению научных статей*, основанных на таких факторах, как автор и тема статьи, цитируемость работы, рейтинг журнала и т.д. Такие рекомендации позволяют лучше ориентироваться в

бесконечном множестве научной литературы, подборе наиболее актуальных и авторитетных источников информации.

Заключение. Несмотря на возможности отслеживания тенденций практически по всем научным направлениям, созданные механизмы представляют наибольший интерес для авторов в сфере цифрового развития, поскольку подобные решения позволяют на ранних этапах отслеживать формирование новых технологий, а также обеспечить быстрое реагирование на их изменения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Севрук Е.А., Качан Д.А., Юневич Н.Г. Выделение трендов цифрового развития с помощью автоматизированной аналитики частоты и тематики научных публикаций // Сборник докладов XXII Международной конференции «РИНТИ-2023». – 2023. – С. 148–153.

2. ResearchGate: Find and share research [Electronic resource]. – URL: <https://www.researchgate.net/>. – Дата доступа: 03.01.2024.

3. Interactive network visualizations. Pyvis Documentation [Electronic resource]. – URL: <https://pyvis.readthedocs.io/en/latest/> – Дата доступа: 03.01.2024.

4. Cyberleninka.ru [Electronic resource] // Similarweb: Website Traffic – Check and Analyze Any Website: [сайт]. – URL: <http://eastfront.narod.ru/memo/latchford.htm> – Дата доступа: 03.01.2024.

5. Axios: [сайт]. – URL: <https://axios-http.com/docs/intro>.

6. Cheerio.js: [сайт]. – URL: <https://cheerio.js.org/>.

УДК 004. 032.26

Д.В. Шиман, доц., канд. техн. наук;
А.Н. Мушук, ассист.; Е.А. Гончар, ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ

На данный момент существует большое количество различных алгоритмов машинного обучения. Каждый из них был создан под разные задачи. В свою очередь, задачи делятся на подвиды. Одним из которых является прогнозирование.

В целом, практически любой алгоритм можно использовать для решения любого типа задач. Отличия состоят лишь в том, что точность работы алгоритма будет слегка ниже, чем если бы использовался предназначенный для конкретной задачи, однако иногда этим мож-

но пренебречь. Однако для достижения наилучшего результата, само собой, требуется, как минимум, использовать готовый, специализирующийся на решении конкретного типа задач, алгоритм. Еще лучшего результата можно добиться, если не просто взять готовый, а создать алгоритм под конкретную задачу.

В случае нейронных сетей, под созданием алгоритма обычно подразумевается выбор слоев, количества нейронов в каждом, функций активации и значение обновления весов.

Стояла задача, разработать алгоритм, способный спрогнозировать количество самоубийств, по социально-экономическим показателям стран. Предложенный алгоритм имеет два слоя длинной краткосрочной памяти, в каждом по восемьдесят нейронов. И два полносвязных слоя, один из которых содержит двадцать нейронов и служит для промежуточного объединения полученных данных, а второй содержит один нейрон и необходим исключительно для вывода информации. Полученная архитектура представлена на рис. 1.

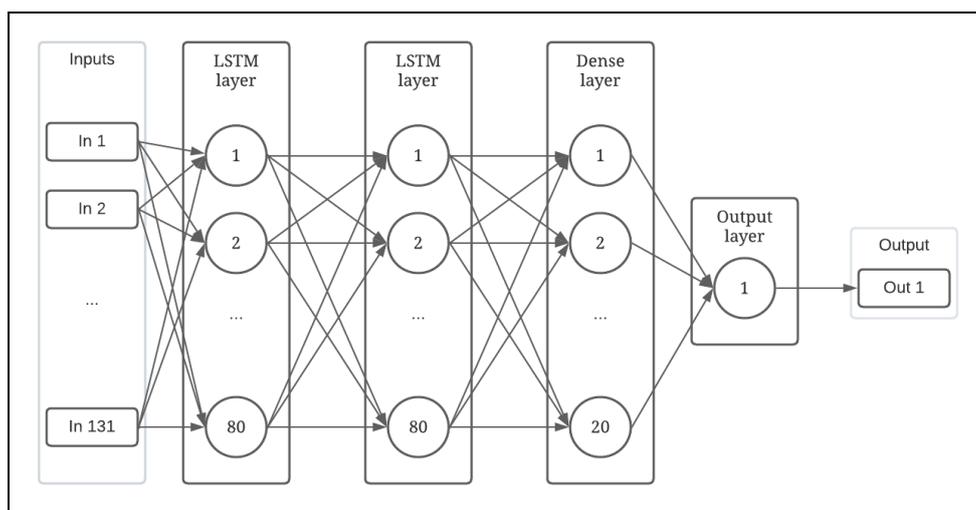


Рисунок 1 – Архитектура сети

Точность прогноза данной сети можно оценить как достаточно высокую. Так, среднее значение показателя средней абсолютной ошибки для десяти циклов обучения на случайно перемешанных данных составило 2.6629. В то время, как алгоритм случайного леса, с количеством деревьев равным ста, на тех же данных показал значение 2.8499.

Прогнозирование социальных явлений, в целом, является не самой распространенной темой исследований. Их количество в этой области достаточно невелико. Тем не менее, они существуют. Однако следует учитывать контекст. Рассматриваемые далее алгоритмы настраивались каждый под свою задачу. Их все еще можно сравнивать с предложенным, так как область и задача весьма схожи, однако не

идентичны. Соответственно в каждом будут приведены значения, полученные в рассматриваемых исследованиях с данными исследований. Сравнение же будет проводиться как с результатами исследований, так и с результатами, полученными при применении полностью идентичных алгоритмов к нашему набору данных, где это возможно.

Первым исследованием, с которым стоит сравнить эффективность полученной сети, является исследование, посвященное прогнозированию попыток самоубийства среди подростков [1]. В данном исследовании использовались четыре алгоритма: логистическая регрессия, алгоритмы Lasso и Ridge, и случайный лес. Показателем эффективности авторы выбрали AUC (Area Under Curve). Этот показатель считает площадь под кривой результатов. И, упрощая, чем он выше, тем более точный результат был получен. Для четырех, указанных выше, алгоритмов показатель AUC составил 0.828, 0.826, 0.829, и 0.824 соответственно.

Следующим рассматриваемым исследованием является сравнение моделей прогнозирования риска суицидального поведения у корейских подростков [2]. В данной работе были рассмотрены алгоритмы логистической регрессии, случайного леса, машины опорных векторов, искусственной нейронной сети и XGB (eXtreme Gradient Boosting). Рассматриваемая авторами нейронная сеть является однослойной, обучаемой на шестидесяти эпохах и оптимизируется алгоритмом Adam. Для оценки эффективности в данном исследовании также взят показатель AUC, и он составил 0.851, 0,853, 0,857, 0,851 и 0,863 соответственно. Применимо к набору данных, предназначенного для предложенного алгоритма, AUC логистической регрессии, случайного леса и нейронной сети составил 0.4944, 0.7021 и 0.8311 соответственно.

Еще одним рассматриваемым исследованием является прогноз смертности от самоубийств на уровне штата в США [3]. Оно представляет наибольший интерес, так как в данном исследовании рассматривается эффективность нейронной сети схожей по архитектуре с предложенной. Авторы проводят сравнение нескольких конфигураций сети, и наилучшие результаты были получены на сети с одним LSTM слоем, количеством нейронов равным 32, 16, 64, 16 для Юты, Луизианы, Нью-Йорка и Колорадо и количеством эпох обучения 200, 200, 250, 150 для тех же штатов. Функции активации и повторной активации во всех случаях представлены тангенсом и сигмоидой соответственно. Метрикой точности сети в данном исследовании был корень среднеквадратичной ошибки (RMSE – Root Mean Square Error). Сравнение результативности представлено в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнение результативности

Количество нейронов	Количество эпох обучения	RMSE на предложенных авторами данных	RMSE на предложенных данных
32	200	3.765	6.9755
16	200	4.156	6.5639
64	250	7.414	6.6872
16	150	5.889	6.3545

Можно заметить, что результативность предложенных авторами исследований алгоритмов заметно ниже, при применении их к нашему набору данных. Однако в случае применения предложенного алгоритма, обрабатывающего наш набор данных, показатель AUC равен 0.8804, что примерно на 0.05 выше, чем аналогичные показатели в первом исследовании и на 0.03 выше, чем во втором.

Показатель RMSE равен 5.4683, что чуть хуже двух из четырех алгоритмов предложенных авторами третьего исследования. Однако, как уже упоминалось, каждый алгоритм создается под конкретную задачу и набор данных, и алгоритмы из третьего исследования дают результаты значительно хуже, чем предложенный, на нашем наборе данных. Что может говорить о его эффективности в контексте поставленной задачи.

Подводя итог, предложенный алгоритм предсказывает значения в целом практически всегда лучше, чем аналоги, а на своем наборе данных значительно лучше. Однако стоит отметить, что прогнозирование социальных явлений – это сложная и многогранная задача, требующая для решения не только разработки нейронной сети, но и полного понимания социальных, психологических и экономических факторов, влияющих на это явление. Нейронные сети могут быть полезным инструментом, но необходимо учитывать ограничения и контекст, в котором они применяются.

ЛИТЕРАТУРА

1 Miche M. et al. Prospective prediction of suicide attempts in community adolescents and young adults, using regression methods and machine learning //Journal of affective disorders. – 2020. – Т. 265. – С. 570–578. – DOI: doi.org/10.1016/j.jad.2019.11.093.

2 Jung J.S. et al. Prediction models for high risk of suicide in Korean adolescents using machine learning techniques // PLoS one. – 2019. – Т. 14. – №. 6. – С. e0217639. – DOI: doi.org/10.1371/journal.pone.0217639.

3 Patel D. et al. Predicting state level suicide fatalities in the united states with realtime data and machine learning //npj Mental Health Research. – 2024. – Т 3. – №. 1. – С. 3. – DOI: doi.org/10.1038/s44184-023-00045-8

ИННОВАЦИИ В МОБИЛЬНОЙ РАЗРАБОТКЕ

Мобильные технологии стали неотъемлемой частью современной жизни, и их влияние продолжает расширяться. Одним из ключевых факторов, определяющих успех мобильных приложений, является инновационность в области их разработки. В данном докладе мы глубже рассмотрим последние тенденции и инновации в мобильной разработке, а также их воздействие на пользовательский опыт и бизнес-среду.

1. Кроссплатформенная разработка: Объединение миров. Одним из наиболее значимых событий в мире мобильной разработки является внедрение кроссплатформенных фреймворков, которые позволяют разработчикам создавать приложения, совместимые с несколькими операционными системами. Ранее, разработка под iOS и Android требовала двух отдельных кодовых баз, что приводило к увеличению времени и затрат. Сейчас, благодаря фреймворкам, таким как React Native и Flutter, разработчики могут использовать один код для обеих платформ, что упрощает и ускоряет процесс.

2. Интерактивные интерфейсы и технологии взаимодействия. Второй ключевой инновацией в мобильной разработке является эволюция технологий взаимодействия пользователя с приложениями. С ростом вычислительной мощности и развитием сенсорных устройств, мобильные интерфейсы стали более интуитивными и адаптивными, предоставляя пользователям более естественный и комфортабельный опыт.

Технологии распознавания лиц: системы распознавания лиц стали широко применяться для аутентификации и управления доступом. Биометрическое распознавание лиц обеспечивает безопасный и удобный способ входа в приложения без необходимости ввода паролей или пин-кодов.

Жесты и мультитач: технологии мультитач и жестовых команд разнообразили способы взаимодействия с устройством. Жесты, такие как смахивание, масштабирование и вращение, делают использование приложений более интуитивным, а мультитач позволяет пользователям одновременно использовать несколько пальцев для выполнения различных действий.

Голосовые управление: технологии голосового управления становятся все более распространенными, от Siri и Google Assistant до

встроенных голосовых команд в мобильных приложениях. Это позволяет пользователям управлять приложениями, делать запросы и выполнять действия, используя только голосовые команды, что особенно удобно в ситуациях, когда руки заняты или управление экраном неудобно.

Машинное обучение для адаптивности интерфейса: продвинутые алгоритмы машинного обучения позволяют создавать адаптивные интерфейсы, которые могут предсказывать предпочтения пользователя. Например, приложение может узнать, какие функции пользователь использует чаще всего, и расположить их ближе к доступу для повышения удобства использования. Эти инновации в области взаимодействия расширяют границы того, как мы взаимодействуем с мобильными устройствами. Разработчики теперь активно используют эти технологии для создания более дружелюбных и интуитивно понятных интерфейсов, что в итоге повышает удовлетворенность пользователей и делает использование мобильных приложений более приятным и эффективным.

3. Искусственный интеллект в мобильных приложениях: больше, чем просто функциональность. Третий пункт об инновациях в мобильной разработке сосредотачивается на влиянии искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) на современные мобильные приложения.

Предсказание поведения пользователя: искусственный интеллект используется для анализа данных о поведении пользователей в приложениях. Алгоритмы машинного обучения способны выявлять паттерны в действиях пользователей, предсказывать их предпочтения и адаптировать интерфейс и контент приложения в соответствии с индивидуальными потребностями. Например, магазин может предложить товары, основываясь на предыдущих покупках или просмотрах.

Персонализированные рекомендации: ИИ играет ключевую роль в создании персонализированных рекомендаций для пользователей. Приложения могут использовать алгоритмы, чтобы анализировать историю пользовательского взаимодействия и предлагать контент, который наиболее вероятно будет интересен. Это может касаться не только товаров в электронной коммерции, но и медиа-контента, новостей и других сфер.

Оптимизация производительности приложений: машинное обучение может быть применено для оптимизации производительности приложений. Алгоритмы анализа данных могут выявлять узкие места в работе приложения и предлагать оптимизации, улучшая скорость ра-

боты и реакции на действия пользователя. Это важно для обеспечения плавного и эффективного опыта использования.

Прогнозирование ошибок и улучшение качества приложений: с использованием алгоритмов машинного обучения можно предсказывать возможные ошибки в работе приложения. Разработчики могут заранее выявлять проблемы, такие как вылеты или сбои, и предпринимать меры по их устранению, что способствует улучшению качества приложений.

Интеграция нейронных сетей: в некоторых мобильных приложениях применяются нейронные сети для обработки сложных данных, таких как изображения или звук. Это позволяет создавать приложения с расширенными функциональностями, такими как распознавание объектов, автоматическая обработка изображений или даже создание фильтров на основе искусственного интеллекта. Использование искусственного интеллекта в мобильных приложениях не только улучшает их функциональность, но и поднимает пользовательский опыт на новый уровень, делая приложения более интеллектуальными, реактивными и индивидуализированными.

4. Расширенная реальность и виртуальная реальность: перепределение взаимодействия

Технологии расширенной реальности (AR) и виртуальной реальности (VR) открывают новые горизонты для мобильных приложений. AR обогащает реальный мир виртуальными элементами, тогда как VR предоставляет пользователю полное погружение в виртуальную среду. В медицине, образовании и играх эти технологии демонстрируют свой потенциал, создавая уникальные и захватывающие визуальные и интерактивные впечатления.

Инновации в мобильной разработке продолжают трансформировать наш цифровой опыт. Кроссплатформенная разработка, продвинутые технологии взаимодействия, применение искусственного интеллекта и внедрение расширенной реальности – все эти элементы не только улучшают функциональность мобильных приложений, но и открывают новые возможности для создания инновационных и востребованных продуктов. Эти тенденции формируют будущее мобильной разработки, направленное на удовлетворение растущих потребностей пользователей и создание уникальных виртуальных миров.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В МАРКЕТИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Большие данные (*Big Data*) – общее название для структурированных и неструктурированных данных огромных объемов. Технологии *Big Data* – это совокупность инструментов, подходов и методов обработки больших данных для дальнейшего их использования. Главной целью является возможность получения на их основе аналитических выводов для принятия решений, поиска новых зависимостей, прогнозирования, достижения бизнес-целей путем анализа, интерпретации и исследования больших объемов данных в условиях непрерывного роста и распределения данных по многочисленным узлам вычислительной сети.

Базовые характеристики *Big Data*: *Volume* (объем), *Velocity* (скорость накопления и обработки постоянно обновляющихся данных), *Variety* (разнообразие типов данных); *Variability* (изменчивость), *Value* (значимость), *Visualization* (визуализация результатов анализа), *Veracity* (достоверность).

Основными задачами *Big Data* являются: построение моделей, основанных на поиске причинно-следственных связей; оптимизация рутинных процессов; составление прогнозов.

Главными особенностями аналитики больших данных является то, что весь объём данных обрабатывается сразу в режиме реального времени, не производится предварительная сортировка данных.

Процесс работы с большими данными можно разделить на следующие три этапа, приведенные в таблице.

Таблица – Этапы процесса работы с большими данными

Этап	Обработка
Сбор данных различного формата из доступных источников:	– интернет вещей (<i>IoT</i>) и другие устройства; – данные от компаний; – региональные и государственные статистические данные; – социальные сети; – <i>GPS</i> -трекеры; – поисковые системы и т. д.
Способ хранения и размещение в хранилище:	– собственные сервера и инфраструктура; – специальные дата-центры; – <i>Data cloud</i> – готовые облачные хранилища.
Анализ и обработка результатов:	– извлечение данных из различных источников, их фильтрация и распределение между узлами; – параллельная обработка на узлах.

Принципы работы с большими данными: расширяемость, отказоустойчивость, локализация обработки в месте хранения.

Выделяют четыре основных метода анализа *Big Data*.

– *Descriptive analytics* (описательная аналитика) – выявление причинно-следственных связей событий, корректировка действий для дальнейшего анализа и принятия решений;

– *Predictive analytic* (прогнозирующая аналитика) – метод прогнозирования на основе оценки текущей ситуации;

– *Prescriptive analytics* (предиктивная аналитика) – выявление и учет проблемных точек в прогнозировании результатов.

– *Diagnostic analytics* (диагностическая аналитика).

Наиболее распространённые базовые технологии обработки больших данных: *NoSQL*, *MapReduce*, *Hadoop*, *R*. Их дополняют аппаратно-программные комплексы, использующие готовые технологические решения, требующие небольших дополнительных настроек или незначительного конфигурирования системы.

В рамках любой маркетинговой компании большие данные помогают проводить анализ в трёх аспектах: общая картина бизнеса, оценка конкурентов, изучение клиентов и целевой аудитории.

Инструменты и технологии для работы с большими данными [1]:

– краудсорсинг – ручной анализ и категоризация источников;

– визуализация – построение графиков, анимированных;

– машинное обучение;

– использование искусственного интеллекта и нейросети;

– смешение и интеграция данных;

– *Data Mining*.

Для хранения и обработки данных применяют технологии:

– классическая реляционная система управления базами данных (СУБД);

– горизонтально масштабируемое хранилище данных (распределённая система);

– система работы с данными *in-memory*.

В системе с горизонтально масштабируемым хранилищем данные распределяются между серверами. Анализ данных происходит на всех серверах параллельно, результат параллельных вычислений консолидируется (*Hadoop*, технология *MapReduce*).

Системы работы с данными *in-memory* позволяют создавать и анализировать структурированные и слабоструктурированные данные в режиме реального времени. Обработка и анализ данных включает в

себя разработку алгоритмов и методов для структурирования, анализа, извлечения информации и получения результатов в реальном времени [2]. Можно выделить следующие инструменты обработки *Big Data*:

Apache Hadoop – фреймворк для обработки больших данных (включает в себя распределённую файловую систему *HDFS* и фреймворк для обработки данных *MapReduce*);

Apache Spark – фреймворк для параллельной обработки данных, который предоставляет *API* для *Java*, *Scala*, *Python* и *R*;

NoSQL-базы данных – масштабируемые и гибкие решения для хранения и обработки неструктурированных данных (*Apache Cassandra*, *MongoDB* и *Couchbase*);

фреймворки для обработки потоков данных в режиме реального времени (*Apache Kafka*, *Apache Storm* и *Apache Flink*);

машинное обучение и искусственный интеллект;

кластерные системы управления данными (предоставляют распределённые хранилища такие, как *Apache HBase*;

технологии для визуализации данных (*Tableau*, *Power BI* и *D3.js*).

Важной задачей в контексте *Big Data* является обеспечение безопасности данных и защита их от несанкционированного доступа.

Эффективная масштабируемость и производительность системы достигается через оптимизацию запросов, распараллеливание обработки данных и использование распределённых вычислений.

Большие данные могут использоваться для обнаружения скрытых закономерностей и трендов. Решение подобных задач заключается в разработке и применении методов машинного обучения и искусственного интеллекта для автоматизации обработки и анализа данных, создания прогностических моделей и принятия интеллектуальных решений.

Примеры применения *Big Data* в маркетинге.

1. Сегментация клиентов методом кластеризации.
2. Создание портрета целевой аудитории.
3. Повышение лояльности клиентов.
4. Визуализация данных и инфографика.
5. Разработка новых продуктов и услуг на основе предиктивного анализа.
6. Снижение коэффициента оттока клиентов.
7. Прогнозирование продаж на основе клиентских метрик.
8. Сокращение издержек (возможность создания карты пути покупателя для разных сегментов аудитории и предсказать наиболее предпочтительные каналы взаимодействия).

В *Big Data* данные хранятся в обезличенном и зашифрованом виде для обеспечения безопасности пользователей.

Обработка данных ведется по принципу от простого к сложному. Вначале данные анализируются и из первоначальной выборки выделяется часть данных, к которым можно применить более простые алгоритмы и методы. Оставшиеся данные передаются на следующий этап обработки, где используются более сложные алгоритмы, и так далее. На последнем этапе сценария обработки применяются сложные алгоритмы к значительно меньшему объему данных. В результате общее время, необходимое для обработки всех данных, уменьшается.

Еще одной эффективной стратегией обработки больших наборов является разбиение данных на сегменты и построение моделей для каждого подмножества с дальнейшим объединением результатов. При этом повышается скорость анализа и снижаются требования к памяти благодаря обработке меньших объемов данных за один проход. Обработка может вестись параллельно и модели для каждого выделенного сегмента данных могут быть уникальными.

Для построения модели на больших объемах исходных данных можно использовать не всю информацию, а некоторое подмножество – репрезентативную выборку. Модель, построенная на относительно небольшом множестве, применяется в дальнейшем ко всему набору данных, соответственно, время получения результата сократится по сравнению с попыткой обучения модели на всем имеющемся объеме данных.

Маркетинговые исследования – это прежде всего математический расчет. Маркетинговые исследования всегда сопряжены анализом большого объема информации. Технологии *Big Data* являются инструментом построения бизнес-стратегий и маркетинговых исследований для достижения компаниями бизнес-целей и позволяют создавать новые формы онлайн- или цифрового маркетинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большие данные (Big Data) [Электронный ресурс] – Режим доступа:

[https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%B8%D0%B5_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_\(Big_Data\)](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%B8%D0%B5_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_(Big_Data)) – Дата обращения: 20.01.2024.

2. Анналин Ын. Теоретический минимум по Big Data. Всё, что нужно знать о больших данных. / Ын Анналин, Су Кеннет. – СПб.: Питер, 2019. – 208 с.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЕРЕОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ ПОМОЩИ БИБЛИОТЕКИ KERAS

Keras – открытая библиотека, написанная на языке Python и обеспечивающая взаимодействие с искусственными нейронными сетями. Keras позволяет интуитивно и просто создавать прототипы, исследовать и развертывать модели глубокого обучения, тем самым способствует уменьшению порога вхождения в разработку нейронных сетей, поэтому эта библиотека занимает лидирующие позиции в среде студентов и специалистов по глубокому обучению [1].

Влияние различных инструментов на результаты переобучения нейронной сети показано на модели классификации рукописных цифр. Для нейронной сети выбрана структура сети, содержащая один внутренний слой размером в 300 нейронов и функцией активации *Relu* и выходной слой с 10-ю нейронами и функцией активации *Softmax* (рис. 1). Сеть реализована с помощью объекта модели *keras Sequential()*, который создаёт последовательную модель с пошаговым добавлением слоёв в неё. *Dense*-слой отвечает за соединение нейронов из предыдущего и следующего слоя, основные гиперпараметры *Dense*-слоя это количество нейронов и функция активации. Функция активации выбирается на основе рекомендаций в зависимости от задачи обучения.

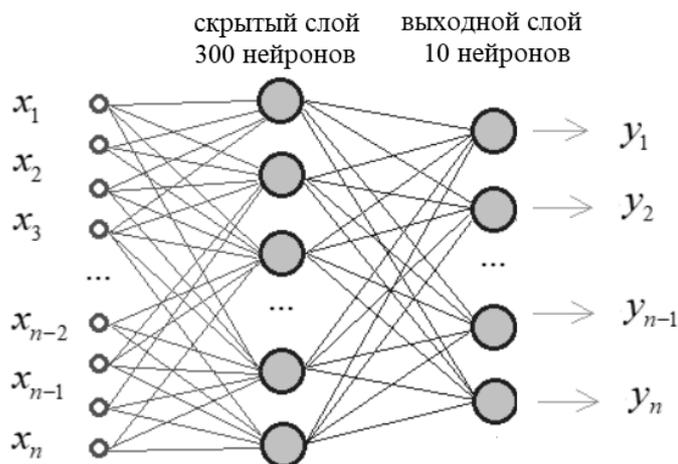
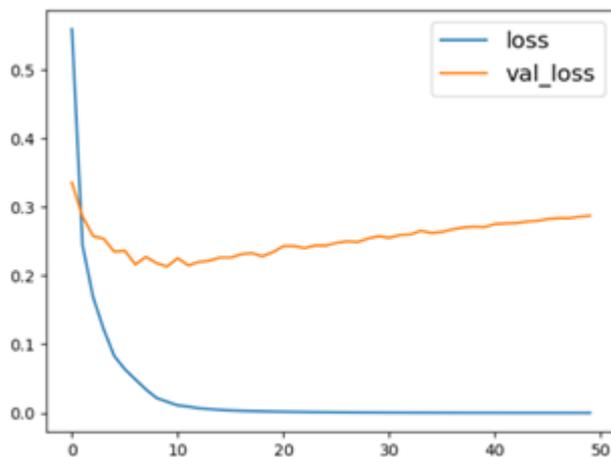


Рисунок 1 – Структура нейронной сети для распознавания рукописных цифр

Компиляция модели выполнена со следующими параметрами: *optimizer='adam'*, *loss='categorical_crossentropy'*, *metrics=['accuracy']*).

График потерь указывает на явное переобучение модели, так как

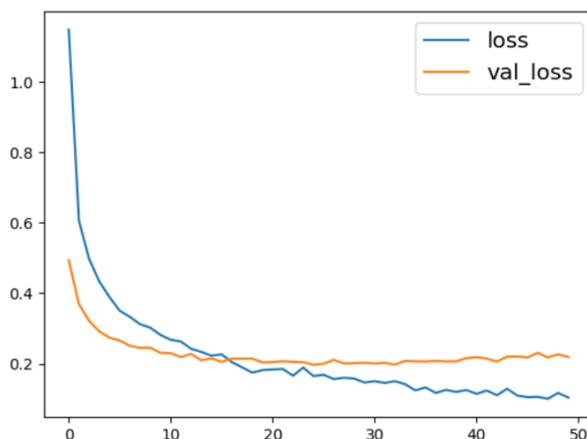
имеется расхождение в точности выходных значений между обучающей и тестовой выборками (рис. 2). Выходом может стать уменьшение количества нейронов во внутреннем слое, однако в ходе эксперимента уменьшение количества до 100 нейронов не повлияло на переобучение модели.



loss	7.4662e-05
accuracy	1.000
val_loss	0.2895
val_accuracy	0.9434

Рисунок 2 – График потерь и параметры модели

Для уменьшения переобучения использован метод *Dropout*, который позволяет исключать случайные нейроны (находящихся как в скрытых, так и видимых слоях) на разных итерациях (эпохах) во время обучения нейронной сети. Метод реализуется добавлением в структуру модели *Dropout*-слоя с параметром, указывающим на процент исключенных нейронов. Использование слоя *Dropout(0.8)* значительно уменьшило переобучение модели и улучшило точность на проверочных данных (рис. 3).

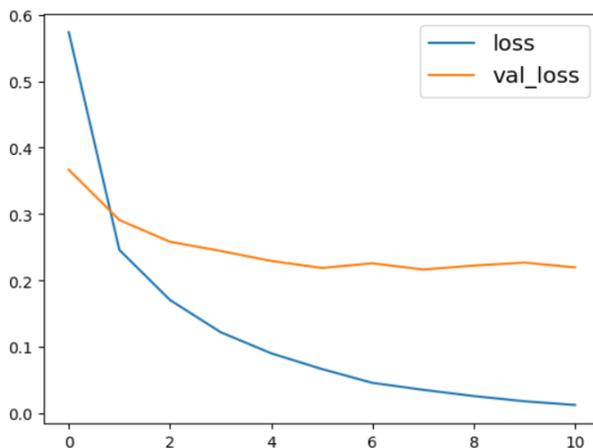


loss	0.1021
accuracy	0.9640
val_loss	0.2363
val_accuracy	0.9438

Рисунок 3 – График потерь с Dropout-слоем и параметры модели

Переобучения можно избежать, вовремя остановив обучение модели, для этого необходимо контролировать процесс обучения. Функции обратных вызовов позволяют оценивать состояние нейрон-

ной сети и своевременно выполнять управляющие воздействия. Обратный вызов имеет доступ к информации о состоянии модели, может вызываться на различных этапах обучения и способен производить следующие действия: прерывать обучение, если функция потерь не уменьшается, сохранять модель, загружать разные наборы весов или как-то иначе изменять состояние модели [2]. Использование обратного вызова позволило остановить обучение уже на 11 эпохе из заданных 50, однако точность модели получилась меньше, чем в случае использования *Dropout*-слоя (рис. 4).



loss	0.0126
accuracy	0.9994
val_loss	0.2197
val_accuracy	0.9390

Рисунок 4 – Список наиболее похожих слов с рассчитанным коэффициентом геометрического сходства

При комбинации двух рассмотренных методов точность на тестовых данных достигла 0.9398 на 23 эпохе.

Рассмотрено влияние двух распространённых способов регуляризации модели. На переобучение модели влияет также множество других параметров: выбор функции потерь и оптимизатора, структура нейронной сети, начальная инициализация весов и др. Обучение нейронных сетей можно назвать сложным эвристическим процессом, зависящим от множества факторов, и использование библиотеки *Keras* значительно упрощает этот процесс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Keras documentation, <https://keras.io/> (дата обращения: 02.02.2024).
2. Шолле Франсуа, Глубокое обучение на Python. 2-е межд. издание. – СПб.: Питер, 2023. – 576 с.

ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РИСКАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Информационная система (ИС) предприятия – это совокупность технологических, аппаратных и программных средств, предназначенных для автоматизации процессов в повседневной работе предприятия. Отказ какого-либо из данных ресурсов приводит к невозможности выполнения предприятием одной или нескольких своих функций.

Проблема состоит в получении количественной (а именно, стоимостной) оценки информационных рисков системы – то есть рисков, связанных с нарушением конфиденциальности, доступности или целостности какого-либо ресурса.

Задачу управления информационными рисками можно разбить на четыре этапа.

Этап 1 – оценка текущего уровня риска ИС.

Этап 2 – построение рейтинга угроз с учетом силы их влияния на уровень риска ИС.

Этап 3 – формирование перечня наиболее эффективных контрмер для снижения текущего уровня риска ИС с учетом информации, полученной на предыдущем этапе.

Этап 4 – оценка достигнутого уровня риска ИС с учетом выбранных контрмер и оценка эффективности управления информационными рисками.

Рассмотрим оценку текущего уровня риска ИС, т. е. первый этап.

В качестве объекта управления возьмем информационную систему добровольного медицинского страхования страховой компании.

Под *риском системы* будем рассматривать сумму рисков ресурсов, из которых состоит система:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i,$$

где R_i – риск i -го ресурса; n – количество ресурсов.

С каждым ресурсом связано множество опасных состояний, реализация которых приводит к отказу, нарушению конфиденциальности, доступности или целостности данного ресурса.

Под **риском i -го ресурса** будем понимать сумму рисков, связанных с реализацией опасных состояний данного ресурса:

$$R_i = \sum_{j=1}^{M_i} r_{ij},$$

где r_{ij} – риск реализации j -го опасного состояния i -го ресурса; j меняется от 1 до M_i ; M_i – количество опасных состояний i -го ресурса.

Под **риском реализации j -го опасного состояния i -го ресурса** будем понимать произведение вероятности P_{ij} и стоимости потерь C_{ij} от реализации данного опасного состояния ресурса:

$$r_{ij} = P_{ij} C_{ij}.$$

Таким образом, задачу оценки риска ИС можно разбить на следующие этапы:

- описание структуры ресурсов ИС;
- описание множества опасных состояний ресурсов ИС;
- оценка вероятностей P_{ij} реализации опасных состояний, в том числе выявление меры влияния угроз на реализацию опасных состояний;
- оценка стоимости потерь C_{ij} от реализации опасных состояний.

Существует общепринятая классификация рисков по *частоте* возникновения ущерба и по *размеру* ущерба (потерь), выражаемому денежными единицами ущерба.

Если имеется полная информация об угрозах, уязвимостях и стоимости ресурсов, то определение размера ущерба не вызывает никаких проблем. Если же такой информации недостаточно, то соответствующие классы рисков можно установить на основе экспертного заключения.

Классификация представлена в таблице.

Таблица – Группировка рисков по частоте возникновения и размеру ущерба

По размеру	По частоте		
	редкие	средней частоты	частые
Малые риски	–	–	+
Средние риски	+	+	+
Высокие риски	+	+	–
Катастрофические риски	–	–	–

Такая классификация позволяет понять специфику различных рисков. Очевидно, что для рисков, выделенных в соответствии с данной классификацией, методы анализа и управления будут совершенно различными.

Для выявления опасных состояний, потери от которых наиболее существенны, предлагается использовать подход на основе нечеткой логики, а именно алгоритм Мамдани.

На величину потерь от реализации того или иного опасного состояния или на значимость опасного состояния влияют два фактора – собственно ущерб от реализации опасного состояния и вероятность реализации опасного состояния в течение рассматриваемого временного интервала. В качестве входных нечетких переменных в данном случае выступают «Ущерб от реализации опасного состояния, например, в течение года» и «Вероятность реализации опасного состояния в течение года». В качестве выходной переменной – «Значимость опасного состояния».

Если опасное состояние ИС связано с нарушением конфиденциальности информации, то вместо входной нечеткой переменной «Ущерб от реализации опасного состояния (в течение года)» используется нечеткая переменная «Ущерб от однократной реализации опасного состояния» и своя система правил вывода.

Под нечеткой переменной в общем случае понимается тройка $\langle \alpha, X, A \rangle$, где α – имя переменной, X – область определения α , A – нечеткое множество на X , описывающее ограничения на значения нечеткой переменной α с помощью набора функций принадлежности $\mu_A(x)$.

В качестве функции принадлежности. можно выбрать одну из функций: треугольная; трапецевидная; гауссова; сигмоидальная; двойная сигмоидальная.

Рассмотрим работу алгоритма нечеткого вывода Мамдани на следующем примере.

Пусть мы располагаем двумя правилами:

- П1: если* есть $A1$ и y есть $B1$, то z есть $C1$,
П2: если x есть $A2$ и y есть $B2$, то z есть $C2$,

где x и y – имена входных переменных, z – имя переменной вывода; $A1, A2, B1, B2$ – значения входных переменных, $C1, C2$ – некоторые значения переменной z , определяемые заданными функциями принадлежности; при этом четкое значение переменной z_0 необходимо определить на основе указанных правил и некоторых исходных значений X_0 и y_0 .

Алгоритм состоит из четырех этапов:

1. Введение нечеткости: находятся степени истинности для предпосылок каждого правила: $A1(X_0), A2(X_0), B1(y_0), B2(y_0)$.

Например, $A1(X_0)$ – это значение функции принадлежности $A1$ переменной x в точке X_0 .

2. Нечеткий вывод: находятся уровни «отсечения» для предпосылок каждого из правил [1]. При этом для логической операции «и» используется операция min , для логической операции «или» используется операция max . Поскольку в приведенных выше правилах используется операция «и», то:

$$\alpha_1 = \min(A1(X_0), B1(y_0));$$

$$\alpha_2 = \min(A2(X_0), B2(y_0)).$$

Затем находятся усеченные функции принадлежности для выходной переменной z :

$$C'_1(z) = \alpha_1 \wedge C1(z);$$

$$C'_2(z) = \alpha_2 \wedge C2(z);$$

где $C1(z)$, $C2(z)$ – функции принадлежности $C1$, $C2$ переменной z .

3. Композиция: с использованием операции max производится объединение найденных усеченных функций, что приводит к получению итоговой функции принадлежности для выходной переменной.

$$\mu_{\Sigma}(z) = C(z) = C'_1 \vee C'_2 = (\alpha_1 \wedge C1(z)) \vee (\alpha_2 \wedge C2(z)).$$

4. Дефаззификация: находится четкое значение выходной переменной z_0 , например, центроидным методом (как координата центра тяжести для кривой $\mu_{\Sigma}(z)$):

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i},$$

где n – количество интервалов, на которые разбивается область значений выходной переменной z ; z_i – значения переменной z в i -ой точке с номером i ; α_i – значение итоговой функции принадлежности $\mu_{\Sigma}(z)$ в точке z_i .

Таким образом, выходными данными алгоритма являются результирующие функции принадлежности для каждой выходной переменной и четкие значения, полученные путем дефаззификации этих функций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБРАЗОВАНИИ

Дополненная реальность (*Augmented Reality – AR*) является определенной разновидностью виртуальной реальности (*Virtual Reality – VR*) и представляет собой технологию совмещения реального мира и дополнительных данных, «вмонтированных» в поле восприятия. Усиление воздействия среды происходит через визуальные, слуховые, осязательные, соматосенсорные и обонятельные рецепторы.

В отличие от виртуальной реальности, дополненная реальность позволяет человеку ощущать реальный мир вместе с виртуальными объектами, наложенными на окружающую обстановку. Таким образом, дополненная реальность интегрируется и дополняет настоящий мир вместо того, чтобы полностью его заменить.

При использовании симуляторов лабораторных установок [1] с дополненной реальностью эффективно решаются задачи знакомства обучающихся с общим устройством различного рода установок, формирования компетенций по регламенту работ и способам обслуживания сложных и дорогостоящих комплексов, изучения фундаментальных принципов функционирования тех или иных элементов технологических схем т. п. Это заметно упрощает процесс обучения, а также вызывает интерес у обучающихся. Основные достоинства применения технологий *AR* в образовании: наглядность, безопасность, вовлечение, фокусировка, дистанционные занятия, для реализации которых существует только одно условие – наличие мобильного устройства, которым пользуется практически каждый современный студент.

Основные характеристики *AR*-системы:

- совмещение реального и виртуального;
- взаимодействие в реальном времени;
- расположение в трехмерном пространстве.

Для добавления функционала дополненной реальности для симуляторов установок используются специальные приложения, в частности, *Vuforia Engine* – среда разработки сервисного *AR*-приложения для *Android*-устройств [2]. *Vuforia Engine* – это программная платформа, с помощью которой можно добавить функциональность *AR* в любое приложение, позволяя ему распознавать изображения и объекты и взаимодействовать с пространством в реальном мире. Платформа *Vuforia Engine* поддерживает разработку приложений *AR* для

устройств Android, iOS и UWP. Используемая среда разработки симуляторов лабораторных установок Unity поддерживает программную платформу Vuforia Engine, что позволяет без дополнительных проблем создавать приложения с использованием дополненной реальности.

Для разработки функционала дополненной реальности в приложении используется способ взаимодействия с реальностью путем целевых изображений (Image Target) – это особый тип маркера, используемый в отслеживании на основе маркеров. После загрузки библиотеки целевых изображений на сцену проекта необходимо добавить камеру дополненной и виртуальной реальности. Эти изображения вручную регистрируются разработчиком в приложении, а затем они работают в качестве триггера, который отображает виртуальный контент.

При этом существует несколько проблем, с которыми можно столкнуться при использовании технологий дополненной и виртуальной реальности в системе образования.

Прежде всего, в определенных предметных областях может возникнуть сложность поиска подходящего качественного образовательного контента из-за их узкой направленности или других факторов. Это может привести к ограничению возможностей технологий дополненной и виртуальной реальности, так как учебным заведениям придется разрабатывать собственный обучающий компьютерный контент, что займет значительное количество времени и ресурсов.

Кроме того, сложность интеграции AR и VR в учебные планы может быть связана с отсутствием готовых методических рекомендаций и образовательных материалов, специально разработанных для использования этих технологий.

Также важной проблемой является нехватка времени и ресурсов для обучения педагогического персонала, разработки учебно-методических материалов и отсутствие стратегии интеграции данных технологий в образовательный процесс.

Таким образом, перечислим некоторые проблемы использования технологий AR и VR в сфере образования:

- неправильная оценка и отсутствие понимания возможностей использования виртуальной реальности в образовании;
- неверное представление об эргономических характеристиках современных аппаратных средств виртуальной и дополненной реальности в образовании;

– слабая проработанность психологопедагогической базы проектирования, реализации и применения средств обучения с использованием виртуальной и дополненной реальности;

– сбор и хранение информации, необходимой для реализации AR, требует много времени и усилий;

– требуется высокая скорость обработки данных.

Однако уже в ближайшем будущем образование высокого уровня станет немыслимым без технологий дополненной и виртуальной реальности. AR и VR позволяют развивать пространственное мышление, открывают новые возможности для дифференциации обучения, во много раз усиливают наглядность пособий и помогают познавать мир через личный опыт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурин Н.И., Сахонь Е.С. Технология разработки симуляторов лабораторных установок для дистанционного обучения // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. – 2021. – № 1 (242). – С. 48–53.

2. Vuforia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.vuforia.com/>. – Дата доступа: 01.02.2020.

УДК 381.1

Ю.А. Скудняков, доц.; Н.Н. Буснюк, доц.
(БГТУ, г. Минск)

МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

В настоящее время для повышения качества образовательного процесса разрабатываются и используются средства обучения, базирующиеся на современных формальных моделях и соответствующем алгоритмическом обеспечении.

Для повышения эффективности организации процесса обучения в данной работе предложен следующий подход: современный процесс обучения описывается с помощью формальных (математических) моделей на основе теории множеств.

Проблема моделирования – одна из важнейших методологических проблем. Под моделью в широком смысле понимают мысленно или практически созданную структуру, воспроизводящую ту или иную часть действительности в упрощенной (схематизированной или идеализированной) и наглядной форме [1].

В данной работе предложена общая модель организации учебного процесса в виде множества следующей формулой:

$$P_i = \langle t_i, A_i, T_i \rangle,$$

где t_i – время начала процесса; A_i – атрибуты процесса, описывающие име- на обучаемых, режим обработки информации, задачи обучения и т. д.; T_i – трасса процесса, представляющая собой последовательность событий, указывающих на изменение состояния процесса.

Тогда трассу процесса можно записать с помощью формулы:

$$T_i = \{C_j, j = \overline{1, n}\}, |T_i| = n,$$

причем события C_1, C_2, \dots, C_n имеют место в моменты времени $t_1 \leq t_2, \dots, \leq t_n$ соответственно.

Кроме того, для организации процесса обучения предложено учитывать разработанную в работе модель характеристик памяти обучающегося, отражающую такие важные показатели качества обучаемого как: объем и помехоустойчи- вость его памяти, время сохранения в ней усвоенной информации.

Все три вышеперечисленные характеристики памяти можно определить по коэффициенту усвоения изучаемого материала:

$$K_y = V_y/V_o,$$

где K_y – коэффициент усвоения изучаемой информации; V_y – объем усвоенной информации; V_o – общий объем изучаемого материала.

Измерение значения объема памяти V_n осуществляется путем сравнения K_y с максимально достижимым K_s , равным 1. Помехоустойчивость памяти зависит от условий обучения (например, факторов внешней среды), границы которой опре -деляются по изменению K_y (ΔK_y).

Время сохранения усвоенной информации можно определить по формуле:

$$T_c = T_{Py} - T_n,$$

где T_n и T_{Py} – время начала и окончания процесса усвоения изучаемого материала. Следовательно, T_c – это промежуток времени, в течение которого обучаемый точно и в полном объеме в состоянии воспроизвести усвоенную информацию.

В процессе полноценной подготовки современного специалиста и формирования его как гармоничной личности необходимо использовать интеграцию всех эффективных и перспективных технологий (образовательно-педагогических, информационно-компьютерных, тестирующих, управленческих, ротационных и др.). Такая интеграция возможна путем создания и использования ротационно-гибридной модели, представляющей собой совокупность оптимально сочетающихся и взаимодействующих различных современных технологий.

Также в работе рассмотрены такие важные показатели качества процесса обучения как производительность V (количество решаемых задач за единицу времени) и время решения задач T , затрачиваемое разными обучаемыми при условии наличия одних и тех же задач. Выявление таких показателей позволяет относительно объективно произвести оценку возможностей каждого обучаемого на текущий момент времени и сформулировать рекомендации по повышению эффективности процесса обучения.

Очевидно, что в общем случае $T = t_p + t_{ож}$, где t_p – время решения задачи, $t_{ож}$ – время ожидания ресурсов (например, принтера, плоттера, время работы процессора ПК, требуемой емкости памяти и т. д.) для окончательного или промежуточного выполнения задачи в рамках разрабатываемого проекта.

Весьма важным фактором в организации процесса обучения является учет индивидуальных особенностей обучающихся с использованием адаптивных методов и средств [2].

Кроме того, для обеспечения индивидуализированным учебно-методическим материалом большого количества учащихся с учетом специфических способностей каждого из них при электронном обучении информационным технологиям в работе предложено использовать способ применения рекомендательных систем, позволяющих подстраиваться в определённые моменты времени под нужды обучаемого и предлагать ему оптимальные пути усвоения изучаемого материала. На основе этой оценки и других сведений об обучаемом и его знаниях система рекомендаций выдаёт советы по учебному материалу, который считает наиболее подходящим применительно к данному обучаемому для успешного освоения им всего изучаемого материала.

В заключение следует отметить, что предложенные в работе модели носят универсальный характер и могут успешно использоваться как в традиционном, так и в адаптивном образовательном процессе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дахин, А. Моделирование как педагогическая задача / А. Дахин // Народное образование. – 2008. – № 9. – С. 180–188.
2. Вилкова, К.А. Адаптивное обучение в высшем образовании: за и против / К.А. Вилкова, Д.В. Лебедев // Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Институт образования. – М.: НИУ ВШЭ, 2020. – 36 с.

Ю.А. Тунакова, д-р хим. наук, проф.;
С.В. Новикова, д-р техн. наук, проф. (КНИТУ-КАИ, г.Казань, Россия);
Р.А. Шагидуллина, д-р хим. наук, проф.;
А.Р. Шагидуллин, д-р техн. наук (ИПЭН АН РТ, КНИТУ-КАИ, г.Казань);
В.С. Валиев, с.н.с. (ИПЭН АН РТ, г.Казань);
В.А. Нурмехамитова, асп. (КНИТУ-КАИ, ИПЭН АН РТ, г.Казань)

СПОСОБ НЕЙРОСЕТЕВОГО РАСЧЁТА КОНЦЕНТРАЦИЙ ПАРНИКОВОГО ГАЗА ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Среди антропогенных факторов, вызывающих изменение климата, основную роль играют выбросы диоксида углерода (CO_2) [1]. Измерения концентраций CO_2 имеют значительные пространственно-временные ограничения, поэтому интерес представляет развитие подходов для моделирования концентраций этого газа на основе более доступных данных. В данной статье в качестве территории апробации предлагаемых подходов рассматривается г. Нижнекамск, где расположен крупнейший промышленный центр нефтехимии и нефтепереработки.

Рассчитать концентрации диоксида углерода по регламентированным расчетным методикам не представляется возможным, так как отсутствуют необходимая детализация параметров выбросов. Однако, могут быть рассчитаны концентрации оксида углерода (CO), который является неизменным «спутником» диоксида углерода в реальных промышленных процессах горения, что влечет наличие взаимосвязи между концентрациями этих газов. Кроме того, в экспериментально измеренных автоматизированных постах концентрациях диоксида углерода, вместе с первичным загрязнением есть доля вещества, образовавшегося в ходе вторичных реакций из оксида. Поэтому в расчетной модели необходимо учитывать процессы превращения веществ в атмосфере.

Результаты расчетов концентраций CO в зоне влияния наиболее крупной Нижнекамской ТЭЦ, полученные в УПРЗА «Эколог-Город» версии 4.70 (Фирма «Интеграл», г. Санкт-Петербург), на основе проектной документации объекта, представлены в таблице.

Полученные значения соответствуют проектным параметрам выбросов и нормативной методике расчета рассеивания веществ в атмосферном воздухе. Для увеличения точности значений с учетом более широкого набора метеорологических условий могут использоваться искусственные нейронные сети.

Таблица – Результаты расчета максимальных концентраций СО

№ расч. точки	Концентрация, доли ПДК	Концентрация, мг/м ³	Направление ветра, °	Скорость ветра, м/с
1	0,0010	0,005	106,00	9,70
2	0,0011	0,006	120,00	8,90
3	0,0011	0,005	84,00	9,20
4	0,0009	0,005	52,00	10,00
5	0,0008	0,004	51,00	10,00
6	0,0010	0,005	37,00	10,00
7	0,0011	0,006	0,00	8,80
8	0,0015	0,007	344,00	6,30
9	0,0010	0,005	321,00	10,00
10	0,0009	0,005	304,00	10,00
11	0,0015	0,007	197,00	6,80
12	0,0013	0,007	202,00	7,70
13	0,0011	0,005	267,00	9,30
14	0,0009	0,005	313,00	10,00
15	0,0011	0,005	107,00	9,00

Для коррекции рассчитанных УПРЗА «Эколог-Город» концентраций оксида углерода в атмосферном воздухе разработана нейросетевая модель типа MLP (многослойный персептрон прямого распространения). После ввода исходных данных в нейросетевой генератор Loginot, система автоматически подобрала оптимальную архитектуру модели: количество входных нейронов – 6; выходных нейронов – 1 (скорректированное значение); скрытый слой -1; нейроны в скрытом слое – 4; функция активации нейронов скрытого слоя – гиперболический тангенс; функция активации нейрона выходного слоя – линейная. Подробнее полученные результаты описаны в [2].

Химическую активность атмосферы в работе [3] предложено выражать через коэффициент трансформации (a_N) – отношение концентрации диоксида азота к концентрации суммы оксидов азота.

Оценивая коэффициент трансформации в пределах различных районов г. Нижнекамска, за разные сезоны и годы, удалось получить следующую картину. Отчетливо проявляется при анализе взаимосвязей значений различных метеофакторов со значениями частных коэффициентов a_N , это сильная зависимость коэффициента трансформации от атмосферного давления. Вместе с этим, наблюдается резкое падение значений a_N при увеличении скорости ветра (рис. 1). Обе эти закономерности наблюдаются параллельно, что позволяет использовать коэффициент трансформации a_N в качестве интегрального показателя

той части потенциала самоочищения атмосферы, которая не зависит от скорости ветра.

Концепцию организации последовательности вычислительных процессов представляет рис. 2. Графическое представление фрагмента результатов моделирования концентраций CO_2 нейросетевой моделью представлено на рис. 3.

Итоговый сценарий, соответствующий всем этапам построения и использования гибридной интеллектуальной модели расчета уровня диоксида углерода в атмосферном воздухе реализован в программе (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022618230 «Программа нейросетевого расчета концентраций парниковых газов» авторы: Новикова С.В., Тунакова Ю.А., Шагидуллин А.Р.). Более подробно этапы построения модели описаны в работах [4,5].

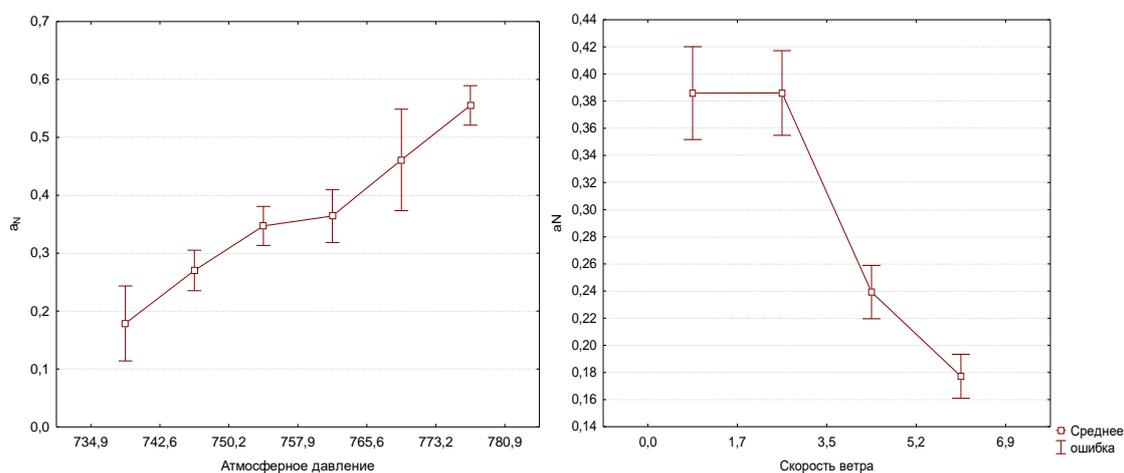


Рисунок 1 – Рост a_N в зависимости от атмосферного давления (слева). Резкое падение значений a_N при сильных ветрах (справа)

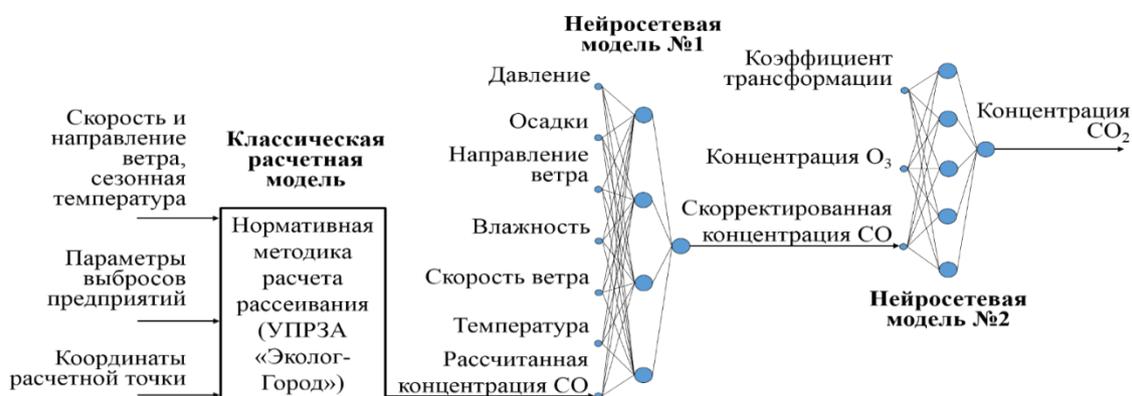


Рисунок 2 – Последовательность вычислительных блоков модели для расчета концентраций диоксида углерода

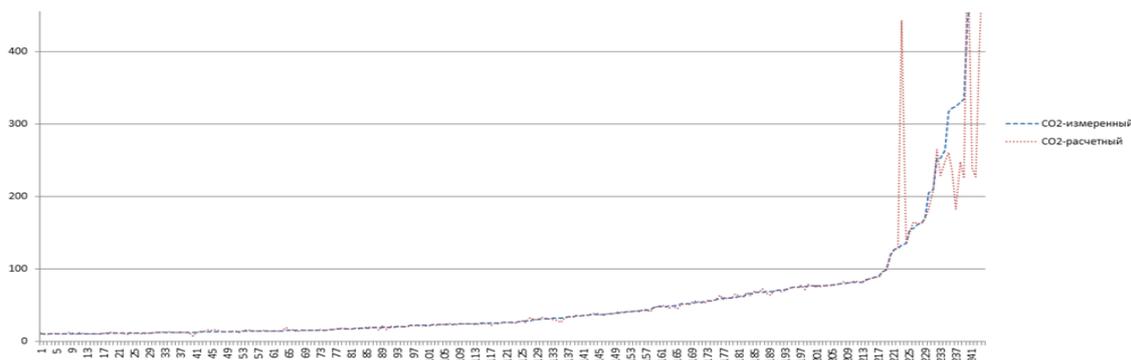


Рисунок 3 – Графическое представление фрагмента результатов моделирования концентраций CO₂ в сравнении с экспериментально измеренными значениями

В результате проведенных исследований нами разработан способ и программа получения расчетных значений концентрации парникового газа диоксида углерода в условиях отсутствия информации о параметрах источников выбросов данного вещества. Вычислительные эксперименты продемонстрировали высокую точность подхода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках программы «Приоритет 2030».

ЛИТЕРАТУРА

1. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

2. Новикова С.В., Тунакова Ю.А., Шагидуллин А.Р., Кузнецова О.Н. Использование интеллектуальных расчетных методов для повышения точности результатов расчетного мониторинга основных компонентов выбросов г. Нижнекамска (сообщение 1) // Вестник Технологического университета. – 2020. – Т. 23. – № 9. – С. 85–88.

3. Григорьева И.Г., Тунакова Ю.А., Валиев В.С. [и др.] Оценка коэффициента трансформации оксидов азота в приземном слое атмосферы Нижнекамского промышленного узла // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – № 19. – С. 242–244.

4. Тунакова Ю. А., Новикова С. В., Шагидуллин А. Р., Валиев В. С. Нейросетевой расчет концентраций диоксида углерода // Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 6. – С. 18–23.

5. Тунакова Ю. А., Новикова С. В., Шагидуллин А. Р., Валиев В. С. Нейросетевой алгоритм и гибридная модель для расчета концентраций парникового газа диоксида углерода // Системы контроля окружающей среды. – 2023. – Вып. 3 (53). – С. 133–140.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБУЧЕНИЯ НАВЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ ARDUINO IDE НА ПРИМЕРЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА

Всё большую популярность среди школьников и студентов приобретает среда разработки Arduino: доступна для скачивания, ПО на русском языке, низкая стоимость оборудования, большой объем готового обучающего материала, множество сайтов, форумов по обсуждению различных схем [1, 2].

Цель обучения – приобретение навыков программирования и сопряжения устройств вывода-вывода информации, различных датчиков с помощью среды разработки Arduino IDE.

Технология обучения состоит из следующих шагов:

1. *Знакомство с различными датчиками. Разбор физики процесса измеряемого параметра.* К примеру, если рассмотреть методы измерения уровня жидкости, то их можно классифицировать на три большие группы: волновые, неволновые и комбинированные. В свою очередь, волновые делятся на ультразвуковой локационный, радиолокационный, лазерный локационный, оптический методы; неволновые – емкостный, гидростатический, буйковый, поплавковый механический; комбинированные – поплавковый магнестрикционный, поплавковый радиолокационный. Рассматривая данные методы, выбирается подходящий метод к проектной теме обучающегося, имеющий больше преимуществ по точности, простоте, обработке сигналов и цене. Для проектной работы выберем ультразвуковой метод.

2. *Установка программного обеспечения, драйверов, библиотек [3].*

3. *Изучение основ программирования на Arduino IDE. Основные команды. Структура программы. Работа с библиотеками.* Библиотеки добавляют дополнительную функциональность скетчам, например, при работе с аппаратной частью или при обработке данных. Для использования библиотеки необходимо выбрать меню **Sketch > Import Library**. Одна или несколько директив **#include** будут размещены в начале кода скетча с последующей компиляцией библиотек и вместе со скетчем. На Arduino.cc имеется список библиотек. Некоторые библиотеки включены в среду разработки Arduino. Другие могут быть загружены с различных ресурсов. Для установки скачанных библиотек

необходимо создать директорию «libraries» в папке блокнота и затем распаковать архив [1].

4. Компилирование программы. Разбор ошибок при компиляции.

Область команд 2 (рис. 1)  содержит следующие команды: проверить скетч на наличие ошибок (если таковые имеются, то командная строка подкрашивается, в этом случае удобно сразу обнаружить ошибку, и эта ошибка прописывается еще в области уведомлений б); загрузить скетч в плату Arduino; создать новый скетч; открыть скетч; сохранить скетч. При успешной компиляции в области 5 будет написано сообщение *Компилирование завершено*.

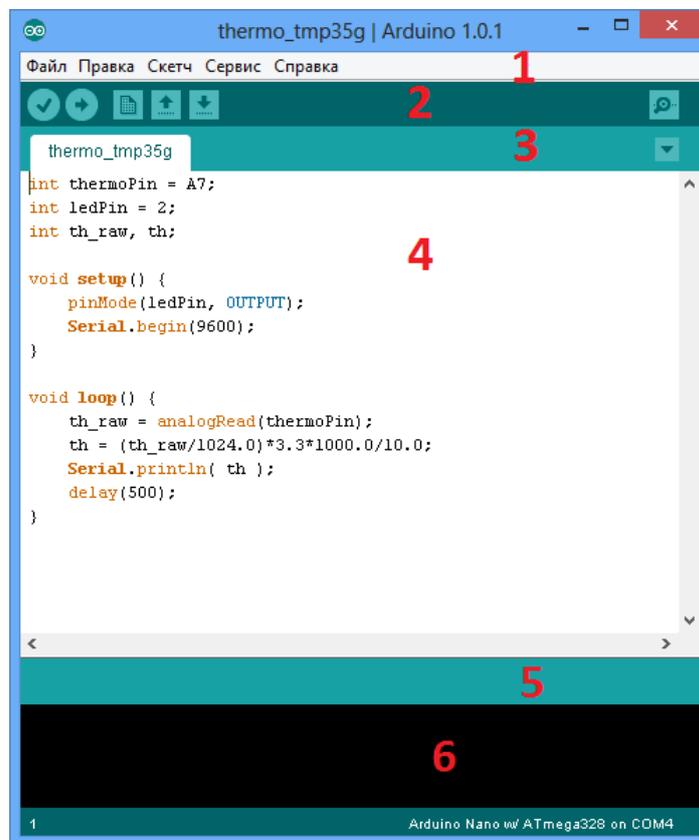


Рисунок 1 – Окно программы ПО Arduino:

1 – строка меню, 2 – область команд, 3 – область вкладок, 4 – рабочая область для редактирования скетча, 5 – строка, в которой прописывается компиляция завершена или сообщение об ошибке, 6 - область уведомлений, ниже название платы и номер порта

5. Изучение платы Arduino Uno, процессор, порты (цифровые, аналоговые), питание Arduino Vcc, земля GND. На рис. 2 представлена оригинальная плата UNO R3: интеллектуальное программирование, модуль микроконтроллера ATmega328P (тактовая частота 8 МГц, питание 3.3 В) с возможностью автоматической перезагрузки, цифровые

входы/выходы, аналоговые входы, питание, земля, USB - порт. При подключении платы Arduino к компьютеру через USB - порт следует указать программе Arduino IDE, какую именно плату Arduino подключаем, и к какому порту (COM1 или COM3). Для этого выберите нужную плату из списка в разделе меню «Инструменты > Плата > Название платы». В разделе меню «Инструменты > Порт > Номер доступного порта».



Рисунок 2 – Макетная плата Arduino Uno

6. *Загрузка скетча.* Во время загрузки в строке состояния 5 (рис. 1) будет отображаться ход выполнения компиляции и загрузки скетча. Если в скетче нет ошибок и он успешно загружен, то в области уведомлений 6 появится информация о количестве использованной и доступной памяти Arduino, а над областью уведомлений появится надпись *Загрузка завершена*. Небольшой скетч (к примеру, 926 байт) заставит мигать светодиод на плате Arduino [4].

7. *Изучение датчиков, их подключение к плате, контактные ножки.* Существует большой ряд датчиков и радиоэлементов под технологию Arduino. На этом шаге обучающимся предлагается изучить для начала простейшие примеры скетчей с такими элементами как светодиод, фоторезистор, потенциометр. Далее выбирается датчик для проектной работы. Выше рассматривался ультразвуковой метод, поэтому рассмотрим пример проекта с ультразвуковым датчиком (ещё его часто называют сонаром или ультразвуковым дальномером), определяющий расстояние до объекта. Датчик HC-SR04 генерирует узконаправленный сигнал на частоте 40 кГц и ловит отраженный сигнал (эхо). По времени распространения звука до объекта и обратно можно достаточно точно определить расстояние до него, имеет диапазон измерения от 2 см до 400 см, работает при температурах от 0° до 60° С. Точность измерения составляет ± 1 см, рабочее напряжение датчика до 5,5 В.

8. *Сбор установки с помощью контактных проводов.*

Схема подключения указана на рис. 3. Отметим, что к Arduino UNO также нужно подключить двухстрочный ЖКИ и загрузить скетч [4]. Далее подключение платы Arduino UNO к порту компьютера, согласование порта.

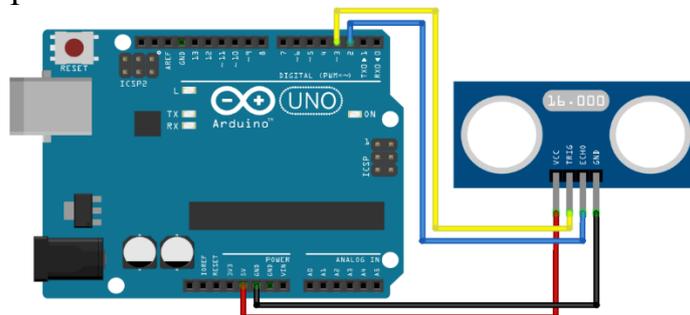


Рисунок 3 – Схема подключения ультразвукового датчика и платы Arduino UNO с помощью контактных проводов

9. *Процесс измерения параметров датчиком, занесение в таблицу измеренных значений.* На рис. 4 показан экспериментальный образец. Видно, что на ЖКИ отображается измеренный параметр в см. При моделировании датчик должен располагаться на заданном расстоянии от поверхности объекта. Далее производится замер расстояния датчиком. Полученные результаты измерения записываются в таблицу.

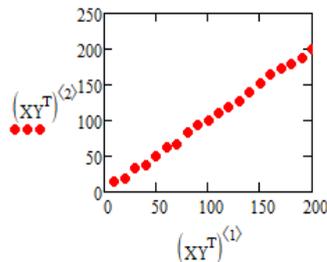


Рисунок 4 – Моделирование датчика. Процесс измерения

10. *Обработка результатов в Excel, MathCAD. Построение графиков. Расчёт погрешности измерения.* Далее на рис. 5 приводится пример выполнения расчета с использованием программы MathCAD по измеренным результатам, переведенные в мм. Получаем погрешность измерения ультразвукового датчика $\Delta \approx 2$ мм.

11. *Применение навыков программирования для проекта.* На этом шаге обучения обсуждается конкретное оборудование для выбранной темы проекта, пишется программа, закупаются датчики. Идет большая подготовительная работа для представления проекта в виде экспериментального образца [5].

$$XY = \begin{pmatrix} 10 & 20 & 30 & 40 & 50 & 60 & 70 & 80 & 90 & 100 & 110 & 120 & 130 \\ 14.62 & 17.96 & 34.18 & 38.35 & 49.13 & 61.52 & 66.44 & 82.35 & 93.89 & 100.87 & 109.74 & 118.47 & 127.21 \\ 140 & 150 & 160 & 170 & 180 & 190 & 200 \\ 140.52 & 151.63 & 164.01 & 173.25 & 178.47 & 187.14 & 200.84 \end{pmatrix}$$



$$X_{\text{mean}} := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n XY_{1,i} = 105$$

$$Y_{\text{mean}} := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n XY_{2,i} = 105.53$$

$$\Delta := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|XY_{1,i} - XY_{2,i}|)$$

$$\Delta = 2.239$$

Рисунок 5 – Фрагмент программы *MathCAD* для расчета погрешности измерения

В ходе занятий изучаются: технология программирования на языке C++, радиодетали, датчики и их назначение, основные законы электричества. Обучающиеся учатся создавать различные автоматизированные устройства на базе микроконтроллера Arduino, собирают различные проекты, с которыми участвуют в городских, республиканских и всероссийских конкурсах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Среда разработки Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arduino.ru/>, свободный (Дата обращения: 11.11.2023).
2. Робототехника Ардуино [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://робототехника18.рф>, свободный (Дата обращения: 11.11.2023).
3. Сайт разработчика ПО Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.arduino.cc/en/Main/Software свободный (Дата обращения: 11.11.2023).
4. Сайт IARDUINO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wiki.iarduino.ru/page/ustanovka-nastroyka-programmnoy-obolochki-arduino-ide-dlya-windows/> свободный (Дата обращения: 11.11.2023).
5. Смирнова С.В. Кружок проектно-технического творчества «IT-приборист» / Инженерная мысль: Республиканская НПК, посвященная 90-летию КНИТУ-КАИ, 25 ноября 2022 г.: сборник докладов. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2022. – С. 135-138.

АЛГОРИТМ МЕДИЦИНСКОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИЙ «ТЕЛЕМЕДИЦИНА» И «УМНЫЙ ДОМ»

Содержание и техническая база функций телемедицины изменяется во времени и имеет свои особенности в разных странах. В обзоре [1] приведен анализ функций телемедицины в США, Японии и России. В Республике Беларусь особенности оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий регламентируются постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 65 от 28.05.2021 «Об утверждении Положения об особенностях оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий». Анализ содержания процессов, связанных с телемедициной, показывает, что в основном в настоящее время ее функции, связанные с пациентом, заключаются в проведении дистанционных консультаций, передаче информации диагностического и реабилитационного характера от находящегося дома пациента к специалисту в медицинском учреждении и обратно. В то же время возможности телемедицины могут использоваться более интенсивно.

Дальнейшее развитие технических средств телемедицины можно прогнозировать, используя законы развития технических систем, которые в силу своей универсальности распространяются и на медицинскую технику. Основы теории развития технических систем (ТС) были сформулированы Г.С. Альтшуллером [2] и наиболее полно изложены в [3]. На основании закона перехода в надсистему медицинские диагностические приборы должны быть объединены в единый диагностический комплекс, информация с которого постоянно анализируется и является источником принятия решений в отношении пациента. При этом процесс передачи информации в соответствии с законом согласования ритмики должен обеспечивать необходимую периодичность передачи информации, а способ передачи информации должен соответствовать закону энергетической проводимости системы, т. е. передача должна осуществляться электромагнитным полем, как наиболее легко поддающимся управлению. Закон увеличения степени вепольности системы предполагает создание цепных веполей за счет связи системы диагностики с системами лечения и профилактики заболеваний. Закон вытеснения человека из ТС обосновывает необхо-

димостью все более широкого использования компьютерных программ диагностики, а также передачи диспетчерских функций компьютерному обеспечению.

Исходя из вышеизложенного, а также с учетом возможностей телемедицины процесс дистанционной диагностики пациента в системе «умный дом» возможно представить в виде следующего алгоритма (рис. 1).

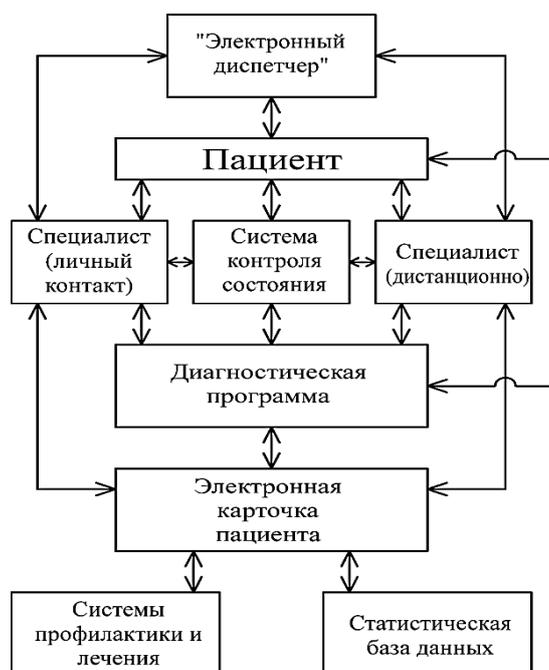


Рисунок 1 – Предлагаемый алгоритм дистанционной диагностики пациента в системе «умный дом»

Информация о показателях состояния здоровья пациента поступает в систему контроля состояния. Она может содержать комплекс диагностических приборов, которые возможно использовать в домашних условиях без специалиста и диагностическая информация с которых может дистанционно передаваться в медицинские учреждения и в соответствующие устройства хранения информации. Кроме того, в системе контроля состояния происходит сравнение текущих значений диагностируемых параметров с нормальными.

В случае совпадения этих значений система контроля состояния периодически передает информацию в электронную карточку пациента, откуда она поступает в статистическую базу данных. Такая же операция производится и в случае отклонений показателей от нормы, но при этом еще передается «электронному диспетчеру», который представляет из себя совокупность устройств и программного обеспечения для установления связи между пациентом и специалистом. Последние получают сообщение о необходимости дистанционной кон-

сультации и вводят в полученный запрос возможное время контакта. «Электронный диспетчер» выбирает ближайшее удобное для пациента и специалиста время, сообщает его обоим и обеспечивает сеанс связи.

Специалист знакомится с содержанием электронной карточки пациента, последней информацией из системы диагностики, при необходимости корректирует работу системы диагностики, например, увеличивая периодичность измерения определенных показателей, а также беседует с пациентом. Если для назначения рекомендаций пациенту достаточно дистанционной консультации специалиста, последний сообщает свои рекомендации пациенту, вносит их в электронную карточку пациента. Из карточки информация поступает в базу данных, а также в связанные с системой дистанционной диагностики системы профилактики и лечения.

Если дистанционной консультации и данных из системы контроля параметров недостаточно, то с помощью «электронного диспетчера» пациента приглашают в медицинское учреждение, где производятся дополнительные исследования и происходит личный контакт врача с пациентом. Дальнейшие действия аналогичны следующим после дистанционной консультации.

Повысить эффективность диагностики возможно при создании и использовании электронной диагностической программы. Она может содержать электронную медицинскую энциклопедию, связывающую диагностические признаки с соответствующими заболеваниями, и алгоритмы действий пациента и специалиста для каждого заболевания. Составление такой программы потребует совместной работы медицинских специалистов самого высокого уровня и специалистов по программированию. Эта программа должна постоянно обновляться новой информацией, получаемой в процессе научных исследований и обработки статистических данных.

Классификация телемедицинских лечебно-диагностических приборов, приведенная в [4], содержит перечень приборов, применяемых как в домашних условиях, так и в медицинских учреждениях. Анализ функций приборов, которые возможно применять для диагностики в домашних условиях, свидетельствует, что в ряд из них, например, прибор для измерения артериального давления [5], уже оснащен необходимой для телемедицины коммуникационной опцией. Необходимо также согласование пакетов компьютерных программ и протоколов передачи данных для всех диагностических приборов, применяемых в домашних условиях. Указанная проблема должна решаться не только на техническом уровне, но и на организационном.

Целесообразно компоновать диагностические аппараты для домашнего использования в комплекты, причем содержание комплекта зависит от состояния здоровья конкретного пациента, корректируется в соответствии с изменением этого состояния. Перечень элементов комплекта может осуществлять специалист при поддержке соответствующим компьютерным обеспечением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лемешко В.А., Тепцова Т.С. Телемедицина: здравоохранение делает шаг в будущее. Медицинские технологии // Оценка и выбор. – 2017. – № 4(30). – С. 30–38. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/telemeditsina-zdravooohranenie-delaet-shag-v-budushee>. – Дата доступа: 13.12.23.

2. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. – М.: Советское радио, 1979. – 116 с.

3. Саламатов Ю.П. Система законов развития техники (Основы теории развития технических систем). Издание 2-е исправленное и дополненное. – Режим доступа: <http://www.trizminsk.org/e/21101400.htm> – Дата доступа: 13.12.23.

4. Владзимирский А.В. Телемедицина: Curatio Sine Tempora et Distantia. – М., 2016. – 663 с. – Режим доступа: https://jtelemed.ru/sites/default/files/pdf_1.pdf – Дата доступа: 13.12.23.

5. Arakawa T. Recent Research and Developing Trends of Wearable Sensors for Detecting Blood Pressure // Sensors. – 2018. – 18(9). – 2772. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/s18092772> – Дата доступа: 13.12.23.

УДК 004.928

Е.С. Мирончик, доц.
(БГТУ, г. Минск)

ПАЙПЛАЙН ГЕНЕРАЦИИ ПОЗЫ ПЕРСОНАЖА В STABLE DIFFUSION В СООТВЕТСТВИИ С ЗАДАЧЕЙ

Stable Diffusion, текстово-графическая нейросеть, которая открыла новые возможности в генерации изображений. Её актуальность обуславливается: 1) доступностью и простотой использования – Stable Diffusion имеет удобный интерфейс, доступный даже начинающим пользователям; 2) универсальностью – нейросеть способна генерировать изображения в различных стилях и на любые темы, от фотореалистичных пейзажей до абстрактных арт-объектов; 3) творческим потенциалом – Stable Diffusion позволяет не просто создавать изобра-

жения, но и экспериментировать, реализуя самые смелые идеи; 4) практической ценностью – сгенерированные изображения могут быть использованы в дизайне, рекламе, иллюстрировании, разработке игр и других сферах.

Stable Diffusion – это не просто инструмент для генерации картинок, а мощная платформа, способная изменить наше представление о визуальном контенте. С уверенностью можно сказать, что генерация изображений в Stable Diffusion – это актуальное и перспективное направление, которое будет развиваться и оказывать все большее влияние на нашу жизнь.

Задание позы персонажа в Stable Diffusion.

1. Текстовое описание. Необходимо использовать простые и понятные слова, например: «стоит», «сидит», «лежит», «бежит», «прыгает». Возможно добавить детали, чтобы уточнить позу: «стоит на одной ноге», «сидит скрестив ноги», «лежит на животе». Можно использовать аналогии: «поза как у статуи Давида», «поза танцовщицы балета».

2. Img2img. Необходимо загрузить изображение с желаемой позой в качестве исходного изображения. Оно может быть фотографией, рисунком, 3D-моделью, скетчем, в том числе нарисованным непосредственно во вкладке Sketch в Img2img. Введите текстовое описание позы в качестве подсказки.

3. ControlNet. ControlNet – это расширение для Stable Diffusion, которое позволяет использовать информацию о ключевых точках OpenPose для управления генерацией изображения.

OpenPose Editor используется для создания скелета персонажа. Он дает возможность настроить положение суставов, чтобы создать желаемую позу. Скелет импортируется в ControlNet. Можно также воспользоваться готовыми скелетами поз, представленными на специализированных сайтах. Пример показан на рис. 1.

ControlNet работает, используя различные препроцессоры и модели. Препроцессор считывает информацию из исходного изображения. Модель использует извлеченную информацию для генерации картинки. Выбор препроцессора может значительно повлиять на результат генерации.

OpenPose – это препроцессор, который используется для определения ключевых точек человеческого тела. Он может быть полезен для генерации изображений людей, где важно точно позиционировать руки, ноги, лицо и другие части тела.

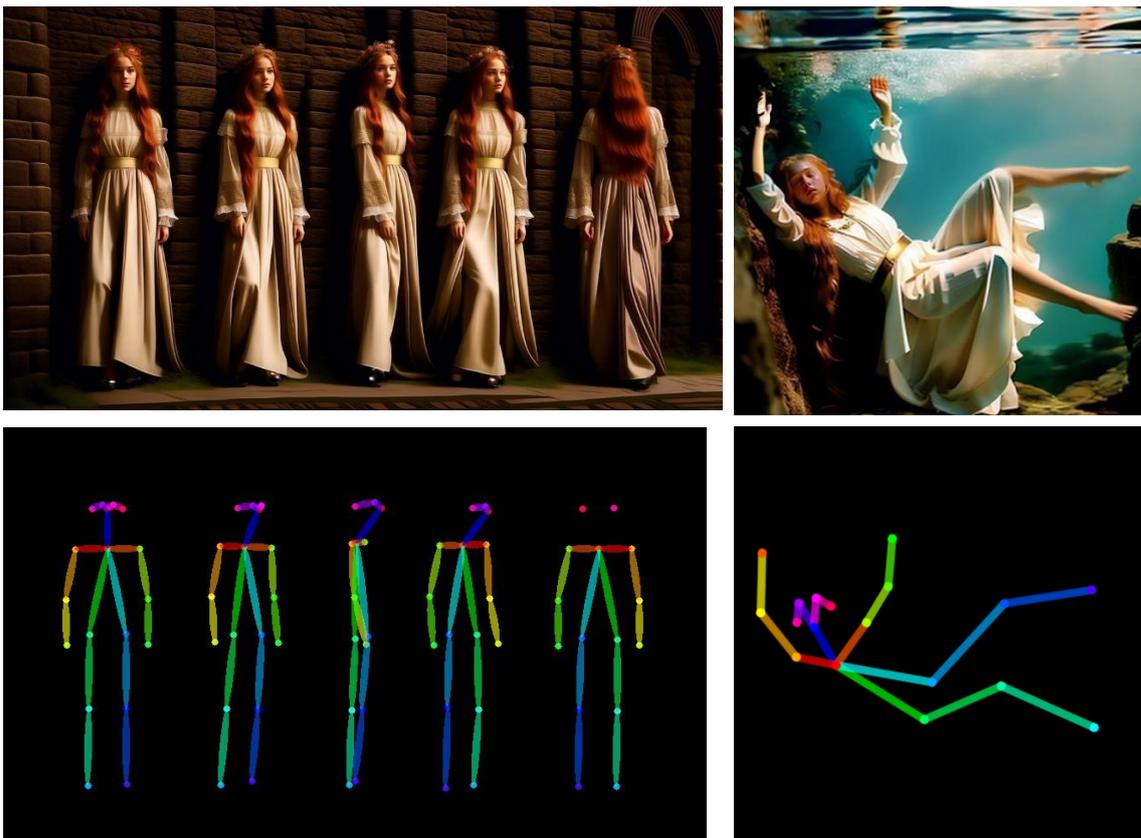


Рисунок 1 – Результаты генерации образа Офелии с использованием модели OpenPose и OpenPose Editor для определения положения персонажа

Canny – это препроцессор, который используется для выделения краев изображения. Он может быть полезен для генерации изображений с четкими контурами и линиями.

Depth – это препроцессор, который используется для определения глубины изображения. Он может быть полезен для генерации 3D-изображений или изображений с эффектом перспективы.

Lineart – это препроцессор, который используется для преобразования изображения в черно-белый эскиз. Он может быть полезен для генерации изображений с акцентом на линии и формы (рис. 2).

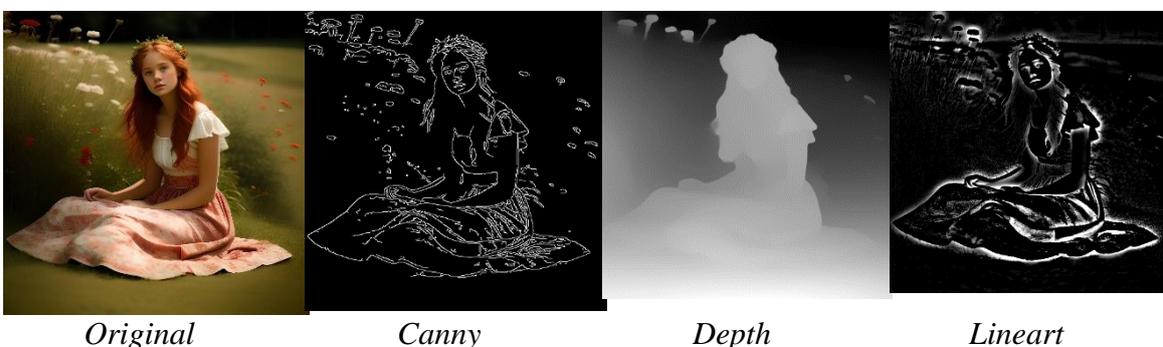


Рисунок 2 – Промежуточный результат запоминания позы препроцессорами для новой генерации с использованием соответствующих моделей ControlNet

Генерация новых изображений осуществляется с помощью моделей, соответствующих препроцессору, и может происходить сразу после анализа исходного изображения.

IP-Adapter в ControlNet – это мощный инструмент, позволяющий преобразовать референсные изображения в формат, понятный для нейросети. IP-Adapter сохраняет при этом стиль и цветовую гамму исходного изображения (рис. 3).



Референс: Джон Уильям Уотерхаус, Офелия, 1910

Референс: Джон Уильям Уотерхаус Офелия, 1894

Референс: Джон Эверетт Милле Офелия, 1851–1852

Рисунок 3 – Результаты генерации образов Офелии на основе IP-Adapter с использованием в качестве референса известных картин

Перспективы Stable Diffusion выглядят многообещающе.

1. Повышение качества. Модель постоянно обучается и совершенствуется, что приводит к улучшению качества генерируемых изображений.

2. Расширение возможностей. Ожидается, что Stable Diffusion будет поддерживать новые функции, такие как 3D-моделирование, генерация видео и интеграция с другими приложениями.

3. Доступность. Stable Diffusion может стать более доступной для пользователей с разным уровнем технической подготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Как использовать ControlNet онлайн с Stable Diffusion через WebUI или чат-ботом Telegram / Грейдиент ИИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://graydient.ai/how-to-use-control-net-over-the-web-stable-diffusion-tutorial/> – Дата доступа: 28.02.2024.

REACT И TYPESCRIPT

Библиотека React не предоставляет свои собственные типы для разработки компонент, создания DOM-узлов и др. Типы для React определены в библиотеке Types React, который устанавливается отдельно. Часть команды React отвечает за Types React, поэтому многие решения, которые они принимают, синхронизируются [1]. Типы Types React являются частью React-приложения, поэтому важно знать и использовать их. Рассмотрим несколько наиболее важных типов, которые предоставляет React. Выбор того или иного типа влияет на эффективность разработки приложения и позволяет проще ориентироваться в приложениях React.

Первый типа JSX. Узлы, например, такие как `div`, определяются типом `React.JSX.Element`: `const node2: React.JSX.Element = <div/>`. Это относительно недавнее изменение: множество глобальных вещей, которые раньше находились в `JSX.Element`, переместил в пространство имен React [1]. Таким образом, `JSX.Element` представляет собой, по сути, узел JSX.

Есть еще один тип, который соответствует `JSX.Element` – `React.ReactElements`. Отличие двух этих типов заключается в том, что `React.ReactNode` позволяет отображать строки, числа, неопределенное значение или значение `null`. По ошибке во 2-й строке кода на рис. 1 видно, что строку нельзя назначить `React.JSX.Element`.

```
const node: React.JSX.Element = <div />
const node2: React.JSX.Element = 'hello world'
const node3: React.ReactNode = 'hello world'
const node4: React.ReactNode = 123
const node5: React.ReactNode = undefined
```

Рисунок 1 – Типы `React.JSX.Element` и `React.ReactElements`

`React.FC` – один из самых известных типов в React и TypeScript. `FC` это сокращенное название интерфейса `FunctionComponent`. `React.FC` определяет функциональный компонент, то есть функцию, аргументы которой – это пропсы компоненты. Прежде всего, он требует того, чтобы компонент возвращал JSX (рис. 2).

`React.FC` позволяет передать объект пропсов, как альтернатива передачи пропсов в качестве параметров компоненты (рис. 3).

```

// Компонент без пропсов
const Component: React.FC = () => {
  return <div />
}

//Компонент с пропсами
const Button: React.FC<{
  children?: React.ReactNode
}> = ({ children : React.ReactNode } ) => {
  return <button>{children}</button>
}

```

Рисунок 2 – Тип React.FC

```

const Component = (props: { name: string }) => {
  return <div>{props.name}</div>
}

const Component1: React.FC<{ name: string }> = (props) => {
  return <div>{props.name}</div>
}

```

Рисунок 3 – Пример передачи пропсов

Глобальный тип в React под названием `React.JSX.IntrinsicElements` позволяет получить все свойства нативного элемента, например, `div` (рис. 4), чтобы расширить их и использовать в компоненте-обертке [2]. `React.JSX.IntrinsicElements` позволяет получить свойства элементов по имени тега, в то время как `React.HTMLAttributes` требует тип элемента, что усложняет задачу. Поэтому использовать `React.JSX.IntrinsicElements` намного удобнее, так он упрощает разработку.

```

type DivProps = React.HTMLAttributes<HTMLDivElement>
type AlsoDivProps = React.JSX.IntrinsicElements['div']
type AlsoAlsoDivProps = React.ComponentProps<'div'>

```

Рисунок 4 – Типы для получения свойств нативных элементов

Есть другой способ получить собственные свойства элемента – с использованием типа `React.ComponentProps` [2]. Кроме того `React.ComponentProps` позволяет получить пропсы любой компоненты (рис. 4, рис. 5), а не только нативных узлов.

```

const Select = ({options, value, onChange}: {
  options: string[]
  value: string
  onChange: (event: React.ChangeEvent<HTMLSelectElement>) => void
}) => {
  return (
    <select value={value} onChange={onChange}>
      {options.map((option :string )=> (
        <option key={option}>{ option }</option>
      ))}
    </select>
  )
}

type Props = React.ComponentProps<typeof Select>;

```

Рисунок 5 – Тип React.ComponentProps

React Types описывает еще множество типов и интерфейсов, которые позволяют определять пропсы, хуки, события, DOM-атрибуты и атрибуты HTML [2]:

1. Типы и интерфейсы для определения хуков: SetStateAction, Dispatch, Reducer, DependencyList, EffectCallback, ContextType, Provider и др.

2. Типы и интерфейсы для определения событий: BaseSyntheticEvent, CompositionEvent, DragEvent, FocusEvent, ChangeEvent, KeyboardEvent, MouseEvent, AnimationEvent и др.

3. Типы для определения пропсов и атрибутов: Props, DOMAttributes, AriaAttributes, AllHTMLAttributes, ButtonHTMLAttributes, FormHTMLAttributes, InputHTMLAttributes, SelectHTMLAttributes, ReactPropTypes и др.

Все эти типы и интерфейсы позволяют упростить и ускорить разработку React-приложений, предотвратить возможные ошибки разработчика, либо исправить их. Поэтому использование React совместно с Type Script на сегодняшний день это обязательно и необходимо.

ЛИТЕРАТУРА

1. GitNation / React's Most Useful Types [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// portal.gitnation.org/](https://portal.gitnation.org/). – Дата доступа: 21.01.2024.

2. MyJavaScript / Справочник JavaScript, TypeScript. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://my-js.org/docs/cheatsheet/react-types/>. – Дата доступа: 21.01.2024.

ГЕНДЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КАК ФАКТОР УСПЕШНОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ВЕБ-ДИЗАЙНЕРА

Профессиональная деятельность – одно из основных направлений самореализации индивида.

Женщины гораздо чаще, чем мужчины, сталкиваются с проблемами социально-экономического и политического характера. Такие трудности обусловлены, например, кадровой политикой руководства, в которой женщины ограничены своим профессиональным развитием или, например, профессиональные квалификации мужчин признают чаще, что приводит к ужесточению конкуренции. Другая проблема – отсутствие у женщин возможностей проявить себя в профессиональной деятельности и реализовать свои знания, умения и опыт.

Постепенно карьера может приобретать некоторые особенности. Это происходит из-за стереотипов, приписываемых.

Как показывают исследования, женщины чаще выбирают профессии, связанные с творчеством, эстетикой, помощью другим и реже выбирают технические специальности.

Основной интерес данной работы заключается в определении места женщин в мире веб-дизайна. На самом деле, веб-дизайн как направление – достаточно молод. При построении макетов, создании сайтов веб-дизайнерам необходимо следовать определенным четким правилам. Кроме того, необходимо не только разработать красивый макет, но и продумать дизайн относительно целевой аудитории, для которой этот веб-сайт создается.

В связи с этим в данной работе возник вопрос: кто такой веб-дизайнер и что он делает.

Следует отметить, что веб-дизайнер определяет визуальное пространство интернет-страниц, оформляет их в определенной цветовой гамме, создает графические элементы.

Прежде всего необходимо отметить перечень задач, которые решает веб-дизайнер при разработке сайта. Среди них можно выделить:

- создание макета будущего сайта, по которому будет строиться его визуальное оформление. В макете закладывается дальнейшая структура сайта, учитывается его наполнение контентом, заранее определяются позиции всех графических элементов;
- определение стилового оформления сайта;

- подбор цветовой гаммы;
- разработка навигации;
- создание и компоновка различных графических элементов (кнопок, меню и шапки сайта, баннеров, логотипов, контент-блоков);
- создание интерактивных веб-приложений;
- обработка загружаемых на сайт текстов и изображений.

В профессии веб-дизайнера можно выделить как плюсы, так и минусы. К первым относятся:

- возможность удаленной работы, самостоятельного планирования собственного времени;
- высокая востребованность профессии на трудовом рынке;
- высокий уровень заработной платы;
- открытые возможности для самостоятельного обучения, повышения квалификации;
- работа творческая, интересная, не монотонная;
- специалист имеет выбор – работать ему в коллективе или в одиночку.

Однако, естественно, присутствуют и минусы:

- вся работа происходит за компьютером, что негативно сказывается на здоровье позвоночника, зрении, фигуре специалиста. Кроме того, малоподвижный образ жизни способствует появлению лишнего веса;
- веб-дизайнеру трудно рассчитать сроки выполнения заказа, приходится укладываться в обещанное время, независимо от недомоганий, плохого настроения, неприятностей в семье и прочих непредвиденных обстоятельств;
- работнику приходится сотрудничать с разными клиентами, с некоторыми из них очень трудно найти общий язык.

Гендерные особенности могут влиять на успех профессионального развития веб-дизайнера, хотя важнее всего являются навыки, талант и степень преданности работе. Однако, некоторые исследования и наблюдения показывают, что различные гендерные черты могут оказать влияние на профессиональное развитие в этой области:

- креативность и эмпатия. Женщины часто ассоциируются с высоким уровнем эмпатии и креативности, что может быть преимуществом в дизайне, включая веб-дизайн. Это помогает создавать уникальные и привлекательные дизайны;
- технические навыки. Несмотря на то, что технические навыки не зависят от пола, некоторые исследования показывают, что мужчины чаще выбирают технические профессии, чем женщины. Однако,

это не означает, что женщины не могут быть успешными веб-дизайнерами.

- коммуникационные навыки. Женщины часто обладают лучшими коммуникационными навыками, что может быть полезно при работе с клиентами и командой;

- самодисциплина и организованность. Эти качества могут быть важными для успешной карьеры веб-дизайнера, независимо от пола;

- социальные ожидания. Иногда социальные ожидания могут повлиять на выбор профессии или карьерное развитие. Например, стереотипы о том, что женщины лучше подходят для заботы о людях, а не для технических задач, могут оказать влияние на выбор профессии.

В целом, успех веб-дизайнера зависит от индивидуальных способностей, страсти к работе и постоянного обучения. Гендерные особенности могут играть определенную роль, но они не являются определяющим фактором успеха в этой профессии.

При проведении исследования по данной теме авторы опирались на ежегодный отчет Digital 2024 [1].

Исходя из полученных данных можно видеть, что женщины наиболее часто используют различные социальные сети для поиска информации о каком-либо бренде, предприятии (рис. 1).

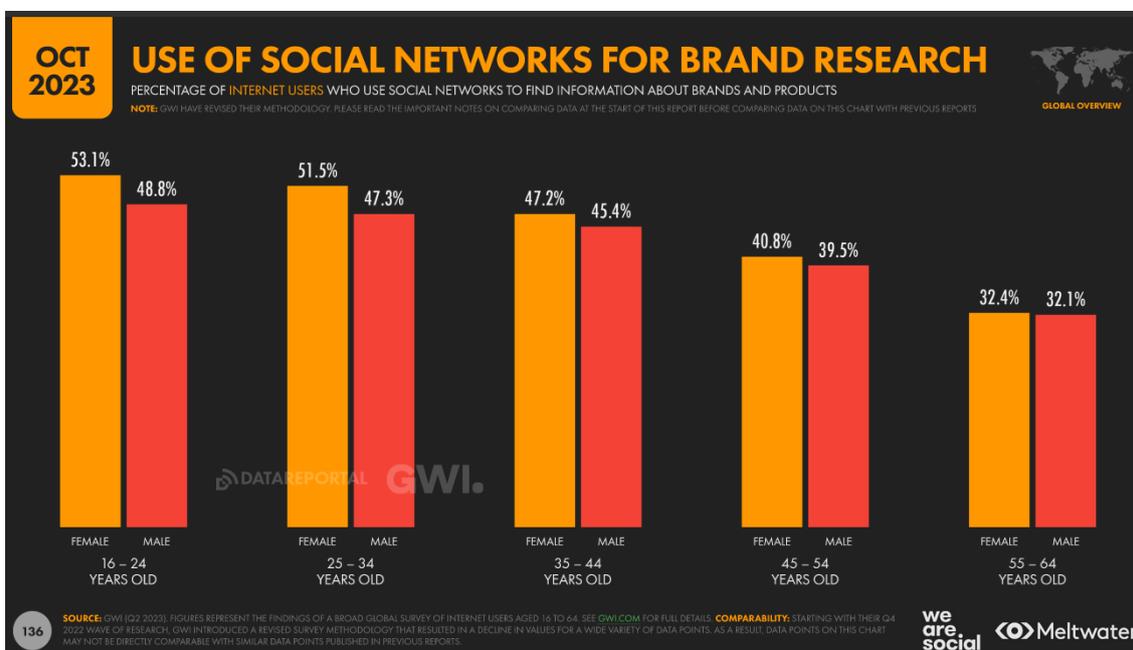


Рисунок 1 – Диаграмма использования социальных сетей

В рамках данной работы было проведено исследование среди студентов факультета Информационных технологий, целью которого

был сбор количественных данных об участии парней и девушек указанного факультета в студенческих мероприятиях различного рода.

Полученные данные были обработаны и отображены на гистограмме (рис. 2). Диаграммой синего цвета обозначено процентное соотношение девушек, а оранжевого – парней.

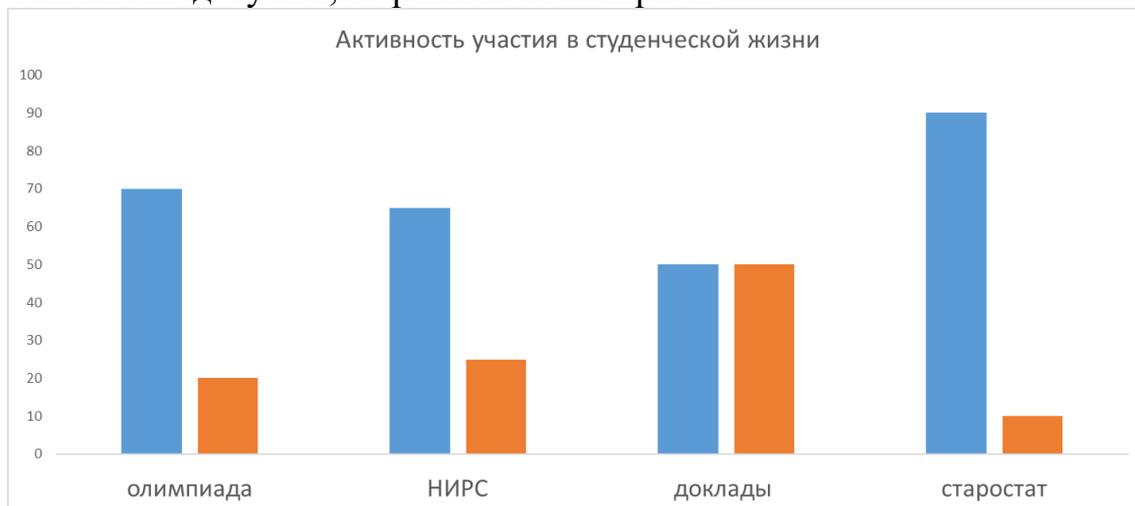


Рисунок 2 – Гистограмма участия в студенческих мероприятиях

Как видно из рис. 2, студенты женского пола наиболее активно принимают участие в различных мероприятиях – предметных олимпиадах, научных конференциях, старостате.

Однако гендерные особенности не играют решающей роли в успехе профессионального развития веб-дизайнера. Успешность веб-дизайнера зависит от их навыков, творческого потенциала, опыта работы, образования и способности адаптироваться к изменяющимся требованиям индустрии.

Важно помнить, что веб-дизайн – это область, где ценится творческий подход, инновации и умение работать в команде. Таким образом, независимо от гендерных особенностей, ключевыми факторами успеха в этой профессии являются усердие, талант и стремление к самосовершенствованию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Special report digital 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://wearesocial.com/uk/blog/2024/01/digital-2024/>. – Дата доступа: 20.01.2024.

ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЗАЩИТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ЗАДАННОМУ КЛЮЧУ

Защитные изображения – это изображения, которые содержат в себе специальные элементы, предназначенные для защиты от несанкционированного использования или копирования. Кодирование авторской информации в защитных изображениях может осуществляться в виде набора линий или простых геометрических фигур с разными параметрами (тип линии, толщина линии, цвет линии, расстояние между линиями).

Методы генерации векторных защитных изображений описаны в [2]. При этом параметры генерации векторного защитного изображения будут определяться секретным авторским ключом [1].

Рассмотрим генерацию защитных векторных изображений по заданному ключу на примере приложения. Версия приложения до изменений представлена в [3]. Были добавлены новые функции, которые будут рассмотрены ниже.

Для генерации штрихового изображения по заданному ключу первым шагом необходимо установить параметры изображения, а именно размеры по вертикали и горизонтали, а также цвет фона (прозрачный, сплошной цвет, линейный или радиальный градиент, фоновое изображение).

Следующий модуль содержит информацию о выбранном примитиве, можно выбрать эллипс, круг, прямоугольник, квадрат, треугольник, линия, произвольный примитив, а также Полином.штрихкод, который будет рассмотрен далее. Внешний вид блока для выбора типа примитива представлен на рис. 1.

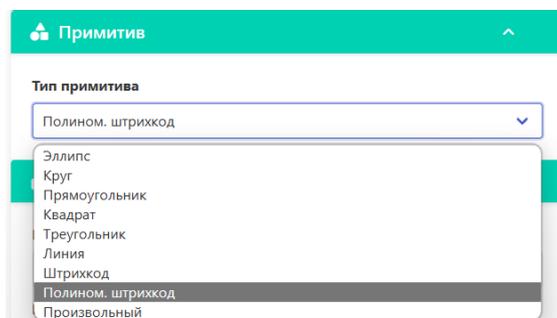


Рисунок 1 – Внешний вид блока для выбора типа примитива

Генерация защитного изображения начинается с ввода размера холста и выбора фоновой цвета, можно оставить значения по умол-

чанию. При выборе типа примитива «Полином. штрихкод» загружается блок «Полином. кодирование» с возможностью ввода необходимых параметров для начальной и конечной линий, ключа, блок с вводом открытого текста, который и будет закодирован этим ключом, а также параметры расстояния между линиями и количество повторений авторского сообщения [1].

Каждый символ включает в себя свой набор параметров для кодирования. К этим параметрам относятся: толщина линии, тип линии, схема штрихования линии. Тип линии можно выбрать сплошной либо штриховой. При выборе штрихового типа есть возможность настроить схему штрихования, задавая длину штриха и пробела. Если будет задано нечетное количество значений, то список значений повторяется. Каждый символ кодируется одной линией, можно выбрать цвет всех линий, но в ключ эта информация не вносится, а задается напрямую в приложении.

Внешний вид блока с вводом параметров представлен на рис. 2.

Штрих/пробел, рх	Действия
2	Удалить
2	Удалить
+ Добавить	

Рисунок 2 – Внешний вид блока для ввода параметров ключа

Чтобы не вводить данные, используя интерфейс программы, есть возможность загрузить ключ кодирования в файле формата .txt. В ключе в первой строке задаются параметры начальной линии, во второй – конечной линии, далее идут параметры для кодирования

каждого символа авторского сообщения. Ключ необходимо вводить в следующем формате:

[толщина линии] [тип линии] [схема штрихования (необязательный параметр)]

[толщина линии] [тип линии] [схема штрихования (необязательный параметр)]

[символ] [толщина линии] [тип линии] [схема штрихования (необязательный параметр)]

На рис. 3 представлен ключ кодирования начальной и конечной линий (первые две строки) и символов «К», «О», «Д», а именно параметры начальной линии: толщина линии: 2, тип линии: штриховая, схема штрихования задана 2/2, параметры конечной линии: толщина линии: 3, тип линии: сплошная. Таким же образом добавляются другие символы и параметры для их кодирования.

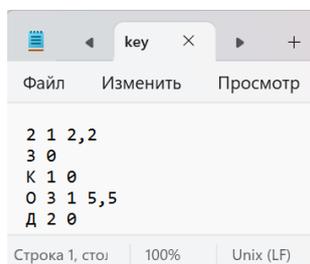


Рисунок 3 – Ключ кодирования для символов

После задания ключа необходимо ввести открытый текст, который будет закодирован данным ключом.

Например, необходимо закодировать слово «КОД», для этого созданный ключ загружается в приложение, это происходит по нажатию кнопки «Загрузить» в блоке «Ключ», и в поле для ввода открытого текста вводится сообщение. Количество повторений сообщения – 3, расстояние между линиями – 10. Получившееся штриховое изображение для текста «КОД» представлено на рис. 4.

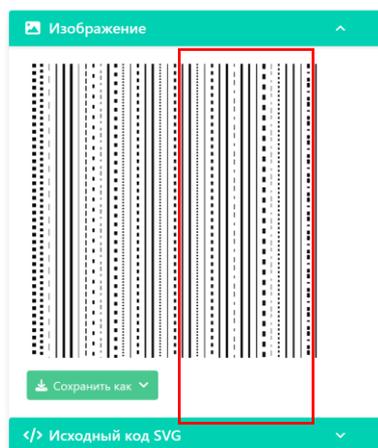


Рисунок 4 – Пример штрихового изображения

Красной рамкой выделено авторское сообщение с учетом начальной и конечной линий и количеством повторений авторского сообщения. Видно, что сообщение начинается с начальной линии, далее авторское сообщение «КОД», заканчивается сообщением конечной линией в соответствии с ключом (рис. 4). Линии, находящиеся справа и слева авторского сообщения, называются маскирующими, необходимы для усложнения анализа изображения и потенциального взлома ключа [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербакова, А. Н. Особенности формирования ключа для кодирования векторных изображений / А.Н. Щербакова, Д.М. Романенко // Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС : сборник статей VI Международной научно-технической конференции «Минские научные чтения – 2023», Минск, 06-08 декабря 2023 г. – Минск : БГТУ, 2023. – Т. 1. – С. 545–550.

2. Новосельская, О.А., Алгоритмы и программное средство для генерации защитных изображений печатных документов. / О.А. Новосельская, Н.А. Савчук, А.Н. Щербакова, Д.М. Романенко // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. – 2022. – № 1 (254). – С. 64–72.

3. Щербакова А.Н., Романенко Д.М. Особенности генерации штриховых изображений по заданному ключу // Информационные технологии. Физика и математика : материалы 87-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 января-17 февраля 2023 г. / Белорусский государственный технологический университет. – Минск : БГТУ, 2023. – С. 119–122.

УДК 621.396.98

А.А. Дятко, доц., канд. техн. наук;
Т.П. Брусенцова, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА, ОТРАЖЁННОГО ОТ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В настоящее время при разработке и модернизации радиолокационных систем важное место отводится детальному математическому моделированию их работы по имитированным отражённым сигналам от заданных типов объектов. При этом современная инженерная практика характеризуется устойчивым повышением роли математического

моделирования, постепенно вытесняющего прочие методы на всех этапах проектирования и исследования сложных радиолокационных систем. Однако полностью отказаться от использования натуральных и полунатурных методов не представляется возможным, поскольку только с их помощью можно обеспечить построение достоверных математических моделей, экспериментальное подтверждение и уточнение результатов математического моделирования.

В представленной работе рассматривается математическая модель радиолокационного сигнала, поступающего на вход радиоприёмного устройства БРЛС по главному лепестку диаграммы направленности антенны при отражении зондирующего сигнала от земной поверхности. Примем для земной поверхности диффузионную модель рассеяния падающих электромагнитных волн. Последнее означает, что мощность обратного вторичного излучения пропорциональна косинусу угла δ между нормалью к поверхности и направлением на источник излучения.

Будем рассматривать случай моделирования сигнала, отражённого от земной поверхности, когда ширина ДНА БРЛС в вертикальной плоскости такова, что участок поверхности, облучаемый антенной БРЛС, нельзя рассматривать как сосредоточенную цель и необходимо прибегнуть к модели сигнала, отражённого от распределенной цели.

Разделим ширину основного лепестка ДНА БРЛС в вертикальной плоскости на $K_A = 2N + 1$ ($N = 0, 1, \dots$) частей. В результате получим K_A парциальных диаграмм, где каждая диаграмма будет иметь ширину в горизонтальной плоскости $\Delta\theta_\beta^a$ и в вертикальной $\Delta\theta_\varepsilon = \Delta\theta_\varepsilon^a / K_A$.

Сигнал, поступающий на вход антенны по главному лепестку ДНА, будем рассматривать как сумму сигналов, принятых рассовмещёнными по угловым координатам примыкающими друг к другу парциальными диаграммами направленности:

$$s_{ml}(t) = \sum_{k=0}^{K_A-1} s_{ml}^k(t),$$

где

$$s_{ml}^k(t) = A_{ml}^k(t) e^{i(\omega_0 + \omega_{D,k}^{ml})t} = A_{ml}^k(t) e^{i\omega_{D,k}^{ml}t} e^{i\omega_0 t} = Z_{ml}^k(t) e^{i\omega_0 t};$$

$$A_{ml}^k(t) = A_{ml}^k(t - \tau_{ml}^k) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < \tau_{ml}^k \\ A_{ml}^k(t - \tau_{ml}^k), & \text{при } t \geq \tau_{ml}^k \end{cases}; \tau_{ml}^k = \frac{2|\vec{R}_k^{fE}|}{c} = \frac{2R_{ml}^k}{c}$$

задержка распространения сигнала при его отражении от земной поверхности вдоль оси симметрии парциальной диаграммы; $R_{ml}^k = |\vec{R}_k^{fE}|$

– расстояние от антенны БРЛС до точки отражения луча на земной поверхности вдоль оси парциальной диаграммы;

$A_{ml}^k(t) = X_k^{ml}(t) + iY_k^{ml}(t)$ – комплексная амплитуда принимаемого сигнала, $X_k^{ml}(t)$ и $Y_k^{ml}(t)$ – квадратурные составляющие комплексной амплитуды, ω_0 – несущая частота; $\omega_{D,k}^{ml}$ – частота Доплера для сигнала, поступающего по k -ой парциальной диаграмме основного лепестка ДНА БРЛС;

$$Z_{ml}^k(t) = A_{ml}^k(t)e^{i\omega_{D,k}^{ml}t} = A_{ml}^k(t)z_k^{ml}(t), \text{ где } z_k^{ml}(t) = e^{i\omega_{D,k}^{ml}t}.$$

Таким образом

$$s_{ml}(t) = \sum_{k=0}^{K_A-1} Z_{ml}^k(t)e^{i\omega_0 t} = Z_{ml}(t)e^{i\omega_0 t},$$

где $Z_{ml}(t) = \sum_{k=0}^{K_A-1} Z_{ml}^k(t) = \sum_{k=0}^{K_A-1} A_{ml}^k(t)z_k^{ml}(t)$ – сигнал, подлежащий моделированию.

В соответствии рекомендациями [1] будем считать, что корреляционная функция квадратурных компонент $X_k^{ml}(t)$ и $Y_k^{ml}(t)$ огибающей сигнала, отражённого от земной поверхности, имеет экспоненциально-параболическую форму

$$R(\tau) = D_n(1 + \alpha_n|\tau|)e^{-\alpha_n|\tau|},$$

где $D_n = (1/2)\sigma_n^2$ – дисперсия квадратурной составляющей, $\sigma_n^2 = \overline{A_{ml}^k(t)^2}$ – дисперсия (мощность) процесса $A_{ml}^k(t)$, $\alpha_n = \frac{2}{\tau_n}$ –

время корреляции флуктуаций сигнала квадратурных составляющих комплексной амплитуды $A_{ml}^k(t)$, $X_k^{ml}(t)$ и $Y_k^{ml}(t)$.

Алгоритм формирования случайного процесса с экспоненциально-параболической корреляционной функцией флуктуаций вида $R(\tau)$ представлен в [2]. Согласно упомянутому источнику, для квадратурных компонент отражённого от поверхности земли сигнала, принимаемого по главному лепестку ДНА, получим:

$$\begin{cases} X_{i,k}^{ml} = a_{0,k}^{ml}\xi_{i,k}^x + a_{1,k}^{ml}\xi_{i-1,k}^x + b_{1,k}^{ml}X_{i-1,k}^{ml} + b_{2,k}^{ml}X_{i-2,k}^{ml} \\ Y_{i,k}^{ml} = a_{0,k}^{ml}\xi_{i,k}^y + a_{1,k}^{ml}\xi_{i-1,k}^y + b_{1,k}^{ml}Y_{i-1,k}^{ml} + b_{2,k}^{ml}Y_{i-2,k}^{ml} \end{cases},$$

где $X_{i,k}^{ml}$ и $Y_{i,k}^{ml}$ – временные отсчёты требуемого процесса в дискретные моменты времени i ($i=0,1,2,\dots$) для $k=0,1,\dots,K_A-1$; $\xi_{i,k}^x$ и $\xi_{i,k}^y$ – независимые нормально-распределённые случайные числа с еди-

ничной дисперсией и равным нулю математическим ожиданием, т.е. $\xi_{i,k}^x \in N(0,1)$ и $\xi_{i,k}^y \in N(0,1)$ (символ N означает нормальное распределение).

Методика расчёта коэффициентов $a_{0,k}^{ml}$, $a_{1,k}^{ml}$, $b_{1,k}^{ml}$ и $b_{2,k}^{ml}$ описана в [2].

Мощность сигнала, принятого парциальной ДНА БРЛС с номером k определяется выражением

$$P_{ml,k}^A = 2P_{ml}^1 \frac{(\sin \delta_k)(\sin \Delta\theta_\varepsilon)}{[2\cos^2 \delta_k + \cos \Delta\theta_\varepsilon - 1]^2} \cos^7 \delta_k,$$

где

$$P_{ml}^1 = \frac{P_0}{32\pi^3 K_A (H^f)^2} G_T G_R \lambda_0^2 \alpha_S^{ml} \Delta\theta_\beta^a;$$

P_0 – мощность передающего устройства РЛС; $G_T = \frac{40000}{\Delta\theta_{\beta d}^a \Delta\theta_{\varepsilon d}^a}$ – коэф-

фициент усиления антенны РЛС на передачу; $\Delta\theta_{\beta d}^a$ и $\Delta\theta_{\varepsilon d}^a$ – ширина ДНА БРЛС соответственно по азимуту ($\Delta\theta_\beta^a$) и углу места ($\Delta\theta_\varepsilon^a$) в градусах; $\delta > 0$ – угол между нормалью к земной поверхности и

направлением на центр антенны БРЛС; $G_R = \frac{40000}{\Delta\theta_{\beta d}^a \Delta\theta_{bd}^a}$ – коэффициент

усиления антенны БРЛС на приём; α_S^{ml} – средняя эффективная площадь рассеивания (ЭПР) фрагмента земной поверхности; H^f – высота полёта носителя БРЛС; λ_0 – длина волны, соответствующая несущей частоте излучения передающего устройства БРЛС; $\delta_k = \frac{\pi}{2} + \varepsilon_k^a$;

ε_k^a – угол между вектором нормали к земной поверхности и направлением на центр k -ой парциальной диаграммы.

Частоты Доплера для сигналов, принимаемых парциальными диаграммами направленности, вычисляются как

$$\omega_{D,k}^{ml} = \frac{2f_0}{c} \vec{e}_k^a \cdot \vec{V}^f \quad \text{для всех } k = 0, 1, \dots, K_A - 1.$$

Здесь \vec{e}_k^a – единичный вектор, направленный от центра антенны к земной поверхности вдоль си симметрии k -ой парциальной диаграммы; \vec{V}^f – вектор скорости носителя БРЛС; (\cdot) – символ скалярного произведения.

Таким образом, получены алгоритмы формирования отражённого от земной поверхности сигнала, поступающего на вход радиоприёмного устройства бортовой РЛС по главному лепестку диаграммы

направленности антенны. Земная поверхность рассматривается как распределенная цель, которая разбивается на элементарные участки. Отражённый сигнал формируется как сумма сигналов, отраженных от элементарных фрагментов поверхности, с учётом их ориентации относительно антенны БРЛС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Охрименко А.Е. Основы радиолокации и РЭБ. Часть 1. Основы радиолокации / А.Е. Охрименко. – М.: Воениздат, 1983.

2. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике / В.В. Быков – М.: Сов. радио, 1971.

УДК 004.9:535.672.73

О.А. Новосельская, доц., канд. техн. наук;
Н.А. Савчук, маг. техн. наук, ассист.;
Т.В. Кишкурно, ст. преп.
(БГТУ, г. Минск)

СВЯЗЬ ПРИНЦИПОВ УПРАВЛЕНИЯ ЦВЕТОМ С ЦВЕТОВОСПРИЯТИЕМ

Раньше дизайнеры и разработчики могли работать, не имея специальных знаний об управлении цветом. Но с распространением дисплеев с широким цветовым охватом при воспроизведении цвета становится сложнее предвидеть результат, что требует изменения подходов в управлении цветом. Например, на экране MacBook Pro и iMac в приложениях цвета выглядят перенасыщенными. Также мы замечаем разницу при просмотре цветов на телефоне и обычном мониторе. Все дело в разнице цветовых пространств и глубине цвета. В большинстве современных экранов телефонов используется цветовое пространство DCI-P3. Если сравнивать его со стандартным для экранов пространством sRGB, то можно понять, что первое пространство является более насыщенным в телесных и зеленых оттенках. Это сделано производителями в целях расширения охвата наиболее востребованных цветов, ведь большинство пользователей на телефон снимает либо людей, либо природу. В результате получается некоторое расхождение в цветах, и пользователь предпочитает просмотр фотографий именно на телефоне, или покупает более новый и дорогой монитор, не задумываясь, что проблема кроется не в старой технике, а в управлении цветом.

При работе с интернет-страницами и приложениями для iOS и Android, важно понимать цветовое пространство, в котором находится

проект, и настроить дизайн и среду разработки в соответствии с ним. Если цвета выбраны в одном цветовом пространстве, а затем не преобразованы, а назначены из другого пространства, они будут выглядеть неправильно. Так часто бывает, когда программа не настроена на широкий цветовой охват и на протяжении всего проекта цвета несут значения для sRGB. Они будут выглядеть ярко в инструменте дизайна и тускло в работающем приложении. Важно знать при каких условиях происходит преобразование цветов.

В настоящее время принятые правила управления цветом перестают работать. С 2010 года мировым сообществом принята двухкомпонентная теория цветового зрения, которая позволила объяснить такие явления, как адаптацию, восприятие цвета при наличии только двух рецепторов из трех, а также явления контрастов. Однако процессы, происходящие в головном мозге при формировании зрительного ощущения до сих пор до конца не изучены. Установлено, что помимо в коре головного мозга в формировании зрительного ощущения задействовано минимум 6 зон, что приводит к изменению цветовосприятия от действия внешних раздражителей, изменения психофизиологического и эмоционального состояний. Полностью предсказать каким увидит цвет тот или иной человек невозможно. При описании цвета в современных цветовых моделях появляются подходы к управлению такими процессами, как адаптация и явление контраста. Выявлено несколько зрительных эффектов адаптации к яркости [1]:

- истощение фотопигментов (обеспечивает достаточный контраст для средних яркостей);
- сужение зрачка (регулирование количества света);
- клеточная адаптация (ускорение отклика на более интенсивные стимулы);
- компрессия реакции (изменение пропорций к уровням яркости).

Также определены следующие факторы контраста цветов [1]:

- насыщенность и яркость цветов-стимулов не оказывают пропорционального влияния на цветность и яркость цветов остаточного изображения;
- в оттенках остаточного изображения отсутствуют четкие желтый или оранжевый цвета, вместо этого они выглядят как смеси красных, зеленых и фиолетовых оттенков;
- насыщенный синий не создает интенсивного желтого остаточного изображения (рассматриваемого отдельно), но тускло-желтый может создать относительно насыщенный фиолетовый; насыщенный

сине-зеленый делает относительно тускло-красный, но насыщенный красный делает интенсивно-сине-зеленый;

– вклад **L**-рецепторов в остаточное изображение кажется непропорционально большим, чем вклад **M**-рецепторов, что приводит к тому, что все остаточные изображения, создаваемые цветом стимула от зеленого сине-фиолетового, кажутся намного краснее, чем соответствующий визуальный дополнительный оттенок к оттенку стимула.

Многообразие состояний **L**-, **M**-, **S**-независимых приемников трехмерно, и чтобы отобразить это, нужно строить трехмерную, пространственную модель. Это усложняет работу с расчетами и внедрения их в современные системы управления цветом. Последняя до сих пор оперирует табличным методом внедрения цветового профиля на основании LUT-таблиц.

Также вместо трех характеристик цвета в настоящее время вводятся шесть. Тройка основных характеристик рассматривается с точки зрения двух подходов – на основании физических процессов и психологических явлений – принято в модели CIE CAM02. Модель CAM16 является преемником официально принятой Международной комиссией по освещению в 2002 году модели CIE CAM02 с различными исправлениями и улучшениями. Она оперирует в цветовом пространстве под названием CAM16-UCS. Основные исправления связаны с упрощением формул пересчета преобразований цвета для внедрения модели в алгоритмические процессы цветовоспроизведения. Однако до сих пор CAM16 не является стандартом CIE [2].

В качестве заключения можно отметить, что до сих пор не принято единой адекватной модели управления цветом. Решением проблемы несогласования цветовых профилей авторы видят в простом внедрении в приложения системы профилей, которые смогут встраиваться по принципам адаптивности и кроссбраузерности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Azzouni, Jody. *Semantic perception*. – New York: Oxford University Press, 2015. – 386 pp.
2. *Comprehensive color solutions: CAM16, CAT16, and CAM16-UCS* / Changjun Li, Zhiqiang Li, Zhifeng Wang, Yang Xu, Ming Ronnier Luo, Guihua Cui, Manuel Melgosa, Michael H. Brill, Michael Pointer // *Color. Research and Application*. – 2017 – Vol. 42, issue 6. – P. 703–718. – URL: <https://doi.org/10.1002/col.22131>.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ШТРИХОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Разработка алгоритма распознавания штрихового изображения ставит своей целью создание эффективного инструмента, способного анализировать, интерпретировать и классифицировать штриховые изображения и графические примитивы на штриховых изображениях. Целью данной работы является разработка копценции алгоритма, позволяющего проводить анализ изображения с целью нахождения и классификации графических примитивов и осуществлении сбора информации о характеристиках графических примитивов (ширина, длина, тип линии и т.д.) для последующе декодирования. Новый алгоритм будет основан на базовом алгоритме Хафа с внесением необходимых изменений для распознавания штриховых и штрихпунктирных линий.

Под графическим примитивом понимается простейший геометрический объект, отображаемый на экране дисплея. Описание графического примитива обычно содержит метрическую и атрибутивную части. Метрическая часть позволяет сопоставить те величины, в которых задан графический примитив для отображения его на дисплее и те величины, которые характеризуют его физическое или логическое представление. Атрибутивная часть передает геометрические параметры, характеризующие форму и расположение графического примитива.

Точка – наиболее простой графический примитив нулевой размерности. Точка определяется своими координатами на плоскости.

Линия – совокупность точек, через которые проходит геометрический отрезок с заданными конечными точками. Характеризуется начальной и конечной точками, или начальной точкой и приращениями координат, или длиной и углом наклона. В зависимости от стиля различают: Сплошная линия – непрерывная линия, которая соединяет две точки без разрывов. Пунктирная линия – линия, состоящая из коротких отрезков или точек с промежутками между ними.

Алгоритм Хафа – это популярный метод обнаружения простых геометрических форм, таких как прямые, окружности, эллипсы и т.д., на изображениях. Основная идея алгоритма заключается в преобразовании из координатного пространства изображения в параметрическое пространство, в котором каждая геометрическая форма представляется точкой или кривой [1].

Этапы алгоритма Хафа для обнаружения прямых линий:

Предварительная обработка изображения: первым шагом является преобразование исходного изображения в градации серого. Вторым шагом применяется пороговый фильтр для сглаживания изображения и уменьшения шума, для этого могут использоваться различные варианты фильтрации и обнаружения границ объектов на изображении.

Фильтр Гаусса использует функцию Гаусса для сглаживания изображения, что помогает уменьшить шум и детализацию. Эффективно удаляет гауссовский шум, сохраняет края объектов. При высоких значениях сигмы вызывает размытие деталей, неэффективен при удалении шума соли и перца с изображения.

Свертка с маской (фильтры Собеля, Превитта) применяет операторы градиента к изображению для выделения краев путем вычисления приближенного градиента яркости изображения. Выявляет направление наибольшего изменения интенсивности и выделяет края, но чувствителен к шуму и имеют невысокий порог распознавания при малой разнице яркостей.

Медианный фильтр заменяет каждый пиксель изображения медианным значением интенсивности пикселей в его окрестности. Эффективно удаляет шум соль и перец шума без размытия краев, не вводит новые значения в изображение, что сохраняет его общий контраст.

Неэффективно справляется с гауссовским шумом.

Билатеральный фильтр комбинирует сглаживание с сохранением краев, учитывая разницу в интенсивности между соседними пикселями.

Выбор фильтра зависит от конкретной задачи и качества исходного изображения. Например, для удаления гауссовского шума лучше подходит фильтр Гаусса, в то время как для устранения шума соль-перец предпочтительнее медианный фильтр. Билатеральный фильтр хорошо подходит для задач, где необходимо сохранить края при удалении шума.

Следующим этапом алгоритма является инициализация пространства Хафа: для каждой точки границы на изображении рассматриваются все возможные прямые линии, проходящие через эту точку. В случае прямых линий используется параметрическое представление линии, например, в форме $r = x \cos(\theta) + y \sin(\theta)$, где r – расстояние от начала координат до линии, а θ – угол наклона нормали к линии. Для каждой такой линии в пространстве параметров (r, θ) инкрементируется соответствующая ячейка. После заполнения пространства Хафа, пики в этом пространстве соответствуют прямым линиям на изображении. Таким образом, выбираются ячейки с наибольшим количе-

ством голосов (инкрементов), и соответствующие им параметры (r , θ) используются для построения линии на исходном изображении. Стандартный алгоритм Хафа не определяет штриховые и штрихпунктирные линии, поэтому адаптация алгоритма может содержать следующие шаги и особенности адаптации базового алгоритма. Усиленный шаг предварительной обработки: перед применением алгоритма Хафа требуется более сложная предварительная обработка, чтобы выделить штриховые и штрихпунктирные линии, особенно если они нерегулярны или имеют переменные интервалы [2].

Модификация алгоритма для учета разрывов (рис. 1): традиционный алгоритм Хафа не обнаруживает линии, состоящие из отдельных сегментов, так как разрывы между сегментами приводят к тому, что голоса в пространстве Хафа распределяются менее плотно.

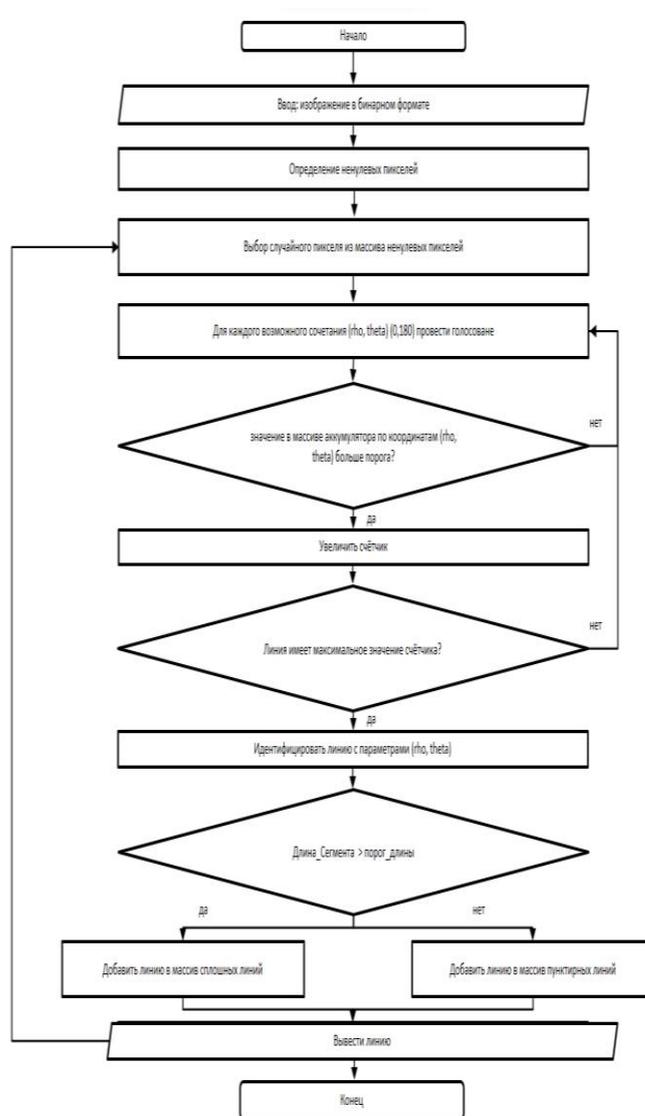


Рисунок 1 – Блок схема разработанного алгоритма на основе алгоритма Хафа с учетом определения штриховых и штрихпунктирных линий

Алгоритм для штриховых и штрихпунктирных линий адаптируется алгоритм для учёта разрывов, например, путём введения дополнительных шагов, которые идентифицируют и соединяют разрозненные сегменты линий воедино (дополнительная переменная, отвечающая за порог, связанный с длиной промежутка между отрезками).

Анализ паттернов голосования: для детектирования штрихпунктирных линий требуется анализ не только пиков в пространстве Хафа, но и характерные паттерны голосования, соответствующие периодическим прерываниям в линиях.

Постобработка: после применения алгоритма Хафа для определения штриховых и штрихпунктирных линий потребуется дополнительная постобработка для соединения отдельных сегментов в единую линию, а также для удаления ложных срабатываний.

Для типизации штриховых и штрихпунктирных линий необходимо определить длины штрихов и интервалов, учитывая вариабельность форм штриховых и штрихпунктирных линий.

В данной работе были исследованы и адаптированы методики для эффективного обнаружения не только сплошных, но и штриховых, а также штрихпунктирных линий путем модификации алгоритма Хафа, включающие усовершенствованную предварительную обработку изображений, специализированные механизмы для учёта разрывов между сегментами линий, а также методы постобработки для соединения этих сегментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Doermann, David Handbook of Document Image Processing and Recognition / Naornita Florica. – New York : Springer, 2014. – 666 pp.

2. Вершок Д.А. Алгоритмические средства обработки и анализа изображений на основе преобразования Хафа: Автореф. дис. канд. техн. наук [Электронный ресурс] / БГУ информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2002.. – Режим доступа: http://neuroface.narod.ru/files/vershok_autoref.pdf.

МЕТОД КОМБИНИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ ДОСТУПНОСТИ ВЕБ-РЕСУРСОВ

Веб-ресурсы используются практически во всех сферах жизни человека. Поэтому при тестировании сайтов или веб-приложений помимо проверки функциональности и юзабилити, также следует оценивать степень доступности ресурса. На данный момент основные рекомендации по созданию интерфейса и проверки его доступности описаны в руководстве WCAG. Чтобы определить уровень соответствия ресурса этим рекомендациям существует ряд методов:

1. Экспертное оценивание – метод, при котором эксперты по доступности проводят анализ веб-сайта с использованием специализированных инструментов и руководств.

2. Тестирование с использованием вспомогательных технологий – при этом методе пользователи с различными особенностями, такими как нарушения зрения или слуха, используют вспомогательные технологии для оценки доступности веб-сайта.

3. Тестирование с использованием панели пользователей – в этом случае исследователи приглашают людей с различными особенностями для тестирования веб-сайта вручную.

4. Автоматизированное тестирование – при помощи инструментов, которые автоматически проверяют веб-сайт на соответствие стандартам доступности.

5. Самооценка – владельцы веб-сайтов или авторы контента могут использовать руководства по доступности чтобы самостоятельно оценить ресурс на соответствие стандартам WCAG [1].

Первые три метода требуют значительных финансовых и временных затрат, поэтому они обычно используются для оценки специализированных ресурсов, разрабатываемых преимущественно для людей с ограниченными возможностями.

Наиболее популярными и простыми в реализации являются методы автоматизированной проверки и самооценки. Существуют различные программы и сервисы для онлайн определения соответствия требованиям доступности. Существуют как браузерные расширения, так и специализированные веб-сайты. В некоторых из них задействован искусственный интеллект. Их основными преимуществами явля-

ются скорость и простота использования, но полученные данные не всегда полны и иногда сложны в анализе [2].

Более понятным является метод самооценки, при котором необходимо вручную проверить все требования. В этом случае необходимо много времени для анализа однотипных элементов, также существует вероятность пропустить элемент или не заметить неправильный атрибут.

Для повышения скорости и эффективности рассмотренных выше методов предлагается создать комбинированный метод, который будет включать в себя:

- автоматизацию проверки однотипных элементов и сбор информации из атрибутов;
- проверку тестировщиком полученных данных;
- автоматизацию чек-листов для повышения скорости анализа;
- возможность выбора критериев оценки.

При анализе критериев доступности и их специфических особенностей были выделены пять групп:

– **визуальная**: обеспечение достаточной контрастности; возможность увеличивать размер шрифта; предоставление текстовых описаний для изображений, аудио и видео.

– **навигация и управление**: взаимодействие с интерфейсом с помощью клавиатуры; обеспечение ясной и видимой индикации фокуса на интерактивных элементах и предоставление информации/подсказок об их функциональности; обеспечение логического порядка чтения содержимого страницы для пользователей, использующих скринридеры или другие ассистивные технологии.

– **аудиальная**: предоставление альтернативных текстовых описаний для аудиоконтента, а также контроль над воспроизведением звука с возможностью регулирования громкости.

– **физическая**: совместимость с различными устройствами ввода; предоставление достаточного времени для выполнения задачи или взаимодействия с интерфейсом.

– **когнитивная**: использование понятных и простых инструкций, текстов и дизайна, чтобы облегчить понимание и взаимодействие с интерфейсом.

Критерии каждой из этих групп могут быть проанализированы только человеком (когнитивные), только автоматически (аудиальные и физические) или требуют их комбинации (визуальные и навигационно-управленческие).

Логика комбинированного метода заключается в:

– оценке элементов веб-ресурса по каждой группе критериев и получения общего значения;

– определении весовых коэффициентов для каждой из групп;

– объединении полученных результатов в общую оценку.

Для определения весовых коэффициентов были выделены два типа требований к доступности веб-ресурсов: общие и по виду ограничений. Общие требования необходимы для повышения значимости критериев, которые проверяют удобство использования ресурсом для любых пользователей, а не только для людей с ограниченными возможностями. В рамках первого типа все группы требований были проранжированы по параметрам: актуальность (насколько данные критерии применимы к среднестатистическому веб-сайту) и совпадение с требованиями юзабилити [3]. Оба параметра взяты с коэффициентом 0.5, поскольку являются равнозначными.

Во втором типе требований были выбраны отдельные виды ограничений и определены их весовые коэффициенты: по слуху (0.3), по зрению (0.25), по особенностям опорно-двигательного аппарата (0.35) и когнитивные (0.1). Коэффициенты для каждого вида ограничений определялись исходя из статистических данных количества пользователей с данным видом ограничений. Группы критериев были проранжированы по каждому виду ограничений.

Сумма весовых коэффициентов по каждому типу требований составляет один, что позволяет равнозначно учитывать значимость общих и специфических критериев.

При расчете итогового значения для каждой из групп (FS) по параметрам всех типов была использована формула:

$$FS_i = R_i * 0.5 + U_i * 0.5 + V_i * 0.3 + H_i * 0.25 + M_i * 0.35 + C_i * 0.1,$$

где R – степень актуальность, U – степень соответствие требованиям юзабилити, V, H, M, C – степени применимости требований для людей с ограничениями по слуху, зрению, движению и когнитивным особенностям соответственно.

Для определения весового коэффициента каждой из группы находилась сумма всех итоговых значений (SU). После чего рассчитывалась часть конкретного (FS) от общей суммы (SU):

$$WF_i = FS_i / SU.$$

Ранжирование критериев, результаты нахождения сумм и весовых коэффициентов представлены в таблице 1.

Для грамотной оценки специализированных сайтов (на которых преобладает какой-либо тип контента) была введена логика пересчета весовых коэффициентов. Для нахождения нового значения необходи-

мо первоначальный коэффициент разделить на разность единицы и всех исключенных весовых коэффициентов. При таком пересчете значения увеличиваются пропорционально своему изначальному весу.

В каждой группе критериев можно выделить один или несколько следующих способов проверок:

- заполнение тестировщиком чек-листа;
- автоматическое считывание тегов, атрибутов и прочих элементов веб-ресурса и их анализ;
- автоматическое считывание тегов и атрибутов с последующим отображением их тестировщику для их анализа и оценки.

Таблица 1 – Ранжирование групп критериев доступности по типам требований

параметры	общие		по виду ограничений				итог. балл, FS	вес. коэфф., WF
	актуальность, R	юзабилити, U	зрение, V	слух, H	движение, M	когнитив., C		
	0.5	0.5	0.3	0.25	0.35	0.1		
когнитив.	5	5	3	1	3	5	7.7	0.26
визуал.	4	3	5	2	2	3	6.5	0.22
навигация и управл.	3	4	4	4	5	4	7.85	0.26
физич.	2	2	2	3	4	2	4.95	0.16
аудиал.	1	1	1	5	1	1	3	0.1
Итого, SU							30	1

После проверки всех критериев каждым из способов, полученные значения умножаются на их весовой коэффициент, который рассчитывается так:

$$LWF_i = 1 / N,$$

где LWF_i – весовой коэффициент конкретного критерия в группе, N – количество критериев для анализа каждой группы.

При этом если какой-либо из заявленных критериев не применим к веб-ресурсу, значения N и LWF_i необходимо пересчитать.

Если критерий включает в себя проверку большого количества однотипных элементов, то за итоговое значение необходимо брать процент верно оформленных элементов.

В ситуациях, когда тестировщик сам отвечает на вопросы, ему необходимо предлагать следующие варианты ответа с соответствующими весовыми коэффициентами:

- положительный – 1;
- неполный – 0.5;
- отрицательный – 0;

– данный тег/параметр отсутствует на сайте – 0.

При этом при отсутствии параметра на сайте необходимо уменьшить N и пересчитать $LWFi$. Важно разделять неправильно выполненный элемент сайта и его отсутствие. Поскольку в первом случае общая оценка снижается, а во втором – весовой коэффициент всех параметров изменяется.

После проведения проверки по каждой из групп, их итоговое значение необходимо умножить на соответствующий весовой коэффициент (возможно пересчитанный) и сложить. Итогом будет сложить значение степени доступности веб-ресурса.

Таким образом, разработанный метод содержит:

– логику распределения критериев доступности контента на пять основных групп;

– формулы расчета и пересчета весовых коэффициентов для каждой из групп;

– логику расчета оценки по каждому критерию.

Данный комбинированный метод позволит быстрее и качественнее производить оценку доступности веб-ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров Д.М. Методы оценки юзабилити и доступности веб-сайтов электронной коммерции // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2022. – №4. – С. 1150–1159.

2. Игнаткова, Я.А. Возможности использования искусственного интеллекта для оценки и повышения доступности веб-ресурсов / Я.А. Игнаткова, Н.П. Шутько // Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС : сборник статей VI Международной научно-технической конференции "Минские научные чтения – 2023", Минск, 06-08 декабря 2023 г. – Минск : БГТУ, 2023. – Т. 1. – С. 214–219.

3. Повышение юзабилити веб-сайта за счет улучшения доступности веб-контента / Я.А. Игнаткова, Н.П. Шутько // ЮЗАБИЛИТИ В ДИЗАЙНЕ – ДИЗАЙН ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА : Междунар. науч.-практ. конф., 26 июня 2023 г. : сб. тезисов; ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А.Л. Штиглица» ; науч. ред., сост. В.Е. Рябинина-Задерновская. – Санкт-Петербург: СПГХПА им. А.Л. Штиглица, 2023. – С. 22–25.

ТРЕНДЫ ВЕБ-ДИЗАЙНА В 2024 ГОДУ

Веб-дизайн является постоянно развивающейся областью, отражающей тенденции современных технологий, вкусы пользователей и требования рынка. В начале каждого года дизайнеры крупнейших ИТ-компаний отбирают наиболее перспективные тренды в предстоящем году. В 2024 ожидается, что некоторые направления будут продолжать развиваться и приобретать новые формы, отражая потребности и предпочтения пользователей. Если в 2023 году был популярен чистый дизайн, то в 2024 будут востребованы смелые решения.

В предстоящем году главным инструментом в веб-дизайне будет интересная и нетипичная типографика. Использование нескольких шрифтовых пар в одном заголовке или слове уже набрало популярность и сейчас находится на своем пике. Этот тренд легко реализуем как с графической, так и с технической точки зрения. За счет многообразия шрифтов количество их комбинации в подобных элементах практически безгранично. Прогнозируется, что этот тренд будет развиваться, закрепляться и использоваться ещё несколько лет.

Использование крупной типографики в подвалах сайта так же набирает популярность. Размещать название компании или слоган крупным фирменным шрифтом акцентного цвета в конце сайта стало популярным ещё в прошлом году. Согласно одному из законов UX-дизайна, пользователь составляет мнение о продукте по своему пиковому впечатлению и последнему. Поэтому крупный и броский текст в конце веб-страницы может стать дополнительным ярким элементом, запомнившимся посетителю.

Тренд типографики телесуфлера предлагает использовать анимацию для привлечения внимания к длинным текстам. Текст может появляться из полупрозрачного тона или градиента, создавая эффект погружения и привлекая взгляд читателя. Это помогает улучшить восприятие и визуальный интерес контента, особенно на мобильных устройствах, где прокрутка играет важную роль [1].

Анимация элементов страницы так же находится на пике популярности. Прогнозируется, что её востребованность будет только расти. Интерактивные переходы, скроллинг и взаимодействие с мышью или сенсорным экраном делают сайты более привлекательными и запоминающимися. Важно, чтобы анимация имела смысл, выделяла ключевые элементы и поддерживала контент.

В 2024 году яркие и насыщенные цвета станут основным трендом. Популярными будут красочные цветовые переходы, которые добавляют динамичности и энергии в интерфейс. Также распространение получат сочетания цветов, вдохновленные дизайном 80-х и 90-х годов, вызывающие ностальгию.

Яркие оттенки можно использовать в сложных и нестандартных градиентах. Простые линейные или радиальные градиенты из двух-трех тонов уже устарели, поэтому в 2024 году будут популярны градиенты с более сложными переходами между цветами. Они помогут создать более интересные и динамичные визуальные эффекты. В качестве источника вдохновения для таких градиентов могут использоваться цветовые сочетания из окружающего мира, например, оперение колибри или пятно бензина на асфальте. Подобные градиенты можно использовать в качестве фона у блоков сайта, цвета крупных заголовков или самостоятельных композиций.

Ностальгический тренд также набирает обороты. От объёмного текста до ретроиллюстраций – все эти элементы снова возвращаются в моду. Использование графики, вдохновлённой тенденциями конца 90-х и Y2K (year 2k или year 2000) будет присуще многим современным дизайнам. Учитывая, что пользователи любят ностальгировать, неудивительно, что эстетика Y2K сейчас всё чаще используется в графическом дизайне и плавно перетекает в интерфейсы.

Большинство посетителей сайтов уже устали от нереалистичных постановочных фотографий на сайте. Поэтому при выборе контента лучше выбирать естественным и натуральным фотографиям.

Тренд использования 3D-элементов в веб-дизайне будет развиваться и в 2024 году. Набирает популярность использование 3D-фигур, созданных из реальных материалов, таких как стекло, металл или пластмасса. Это добавляет осязаемость и глубину дизайну, делая его более привлекательным и интерактивным. 3D-фигуры из реальных материалов могут использоваться как декоративные элементы, так и для передачи конкретной информации или идей [2].

Использование гигантских заголовков и кнопок сейчас теряет свою популярность. Обилие подобных элементов на странице путает и утомляет пользователей. Для акцентирования внимания лучше использовать цвет и нестандартные формы, а не размер.

Сгенерированный нейронными сетями контент так же стоит использовать с осторожностью. В погоне за футуристичными или суперреалистичными изображениями теряется реальность продаваемых товаров или услуг. В некоторых ситуациях чрезмерно креативный визуальный контент на странице может вызвать негативные чувства

у пользователей. Не всем проектам нужен такой подход, поэтому после популяризации данного тренда, его лучше использовать в тех ситуациях, когда это уместно.

При разработке дизайна сайта, стоит принимать во внимания тренды, но также необходимо знать, что уже устарело и не привлекает пользователей. Примером нескольких антитрендов могут служить:

- статичность: любые простые страницы без анимированных эффектов и переходов быстро перестают интересовать посетителей;

- плоский дизайн: использование флэт-иконок и изображений, элементов material design уже несколько лет считается скучным и устаревшим решением;

- стоковые изображения и иконки;

- горизонтальное прокручивание страницы: визуально являлось интересным решением, но неудобно как при реализации, так и при использовании;

- экстремальный минимализм: создает впечатление пустой страницы, к которой быстро теряется интерес посетителей [3].

Таким образом, можно сказать, что веб-дизайн в 2024 году будет отличаться новыми и уникальными трендами. К ним можно отнести сочетание нескольких шрифтов, использование огромных подвалов с крупной типографикой, создание 3D фигур из реальных материалов и внедрение ярких цветов и градиентов. Данные тренды находятся на пике популярности и предполагается, что интерес к ним будет расти. Они добавляют оригинальность и креативность в дизайн веб-сайтов, делая их более привлекательными и запоминающимися для посетителей. При выборе стиля стоит помнить, что дизайн разрабатывается для конкретного бизнеса и в первую очередь должен соответствовать его специфике и задачам, а уже потом учитывать текущие тренды.

ЛИТЕРАТУРА

Главные тренды веб-дизайна в 2024 году [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https:// media.contented.ru/znaniya/instrumenty/ glavnye-trendy-veb-dizayna-v-2024/](https://media.contented.ru/znaniya/instrumenty/glavnye-trendy-veb-dizayna-v-2024/). – Дата доступа: 15.01.2024 г.

10 трендов веб-дизайна в 2024 году [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https:// https://tilda.education/web-design-trends-2024](https://tilda.education/web-design-trends-2024) – Дата доступа: 16.01.2024 г.

Тренды дизайна-2024: крутые идеи и приемы, которые пора оставить в прошлом [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://gb.ru/blog/trendy-dizajna/> – Дата доступа: 18.01.2024 г.

МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМОВ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ВИДЕОФАЙЛОВ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ КОДЕКОВ

Стеганография – это метод скрытия информации в другом объекте, называемом носителем. Видеофайлы являются одним из популярных контейнеров для стеганографии, поскольку они обладают большой емкостью и могут содержать скрытые данные без заметного снижения качества. Стеганография может быть использована для скрытия конфиденциальных данных, скрытой аутентификации для проверки подлинности видео или для скрытой передачи информации.

Существует множество алгоритмов стеганографии для видеофайлов, которые можно разделить на несколько категорий: алгоритмы на основе LSB (Least Significant Bit), алгоритмы на основе DCT (Discrete Cosine Transform) и алгоритмы на основе преобразования Фурье. Методы простого замещения LSB изменяет младшие биты пикселей видеокадра для встраивания информации. Такие алгоритмы просты в реализации, однако отличаются низкой стойкостью к атакам и заметным снижением качества видео при большом объеме внедряемого сообщения. Метод дифференциальной модуляции LSB использует разницу между значениями соседних пикселей для встраивания информации. Отличается более высокой стойкостью в сравнении с простым замещением LSB. Метод встраивания в коэффициенты DCT использует коэффициенты DCT (дискретного косинусного преобразования) видеокадров для встраивания информации. Метод с использованием квантовых таблиц DCT модифицирует квантовые таблицы DCT для встраивания информации. Оба метода на основе DCT незначительно снижают качество видео. Алгоритмы на основе преобразования Фурье более сложны в реализации по сравнению с алгоритмами LSB и DCT. Преобразования Фурье представляют собой разложение сигнала на его составляющие частоты, таким образом алгоритмы на основе таких преобразований требуют больших вычислений и чувствительных к шуму [1].

Стеганографические методы можно разделить на две категории в зависимости от того, в каком виде используется видео: в исходном или сжатом виде. При разработке стеганографических методов для видеофайлов в сжатом виде необходимо учитывать особенности кодеков, которые используются для сжатия видео. Сжатые видео занима-

ют меньше места в памяти по сравнению с исходным вариантом, и встраивание сообщения происходит во время или после сжатия видео.

H.264 (также известный как AVC) – это стандарт сжатия видео, который использует алгоритм сжатия с межкадровым предсказанием, который кодирует изменения между кадрами, что позволяет значительно уменьшить размер видеофайла. H.264 использует ключевые I-кадры, которые не зависят от других кадров и содержат полную информацию, P-кадры для предсказания изменений в сравнении с предыдущими кадрами (они содержат только информацию о различиях между предыдущим кадром и самим собой) и B-кадры, которые используются для предсказания изменений как относительно предыдущих, так и последующих кадров.

Стеганографические алгоритмы, работающие с H.264, могут быть очень эффективными для скрытия информации. Это связано с тем, что H.264 основан на дискретном косинусном преобразовании, которое преобразует видеоданные в частотную область. Как правило, секретное сообщение встраивается в коэффициенты DCT яркости ключевого I-кадра [2]. В P-кадрах вектор движения кодируется для каждого макроблока на основе предыдущих кадров, для дальнейшей работы алгоритма. Вектор движения широко используется и для встраивания секретного сообщения. Можно воспользоваться одним из двух подходов: модификация вектора движения и модификация фазового угла вектора движения [3].

H.265 (также известный как HEVC) – это стандарт сжатия видео, который был разработан для достижения более высокой степени сжатия, чем H.264. Он использует ряд новых технологий, таких как кодирование с использованием блоков большего размера, предсказание внутрикадрового кодирования и адаптивное кодирование энтропии, для достижения более высокой эффективности сжатия.

H.265 имеет ряд характеристик, которые могут быть использованы для встраивания скрытых данных. Однако, как и в случае с H.264, эффективность внедрения скрытых данных в видео с использованием H.265 может зависеть от ряда факторов, таких как качество видео и требования к скрытой информации. H.265 использует более крупные блоки предсказания (до 64x64 пикселей) по сравнению с H.264 (до 16x16 пикселей). Это увеличивает количество доступных данных для встраивания, что позволяет стеганографическим методам скрывать более объемные сообщения. Различные методы предсказания, такие как медианное предсказание и предсказание с использованием градиента, могут быть использованы для маскировки скрытых данных.

AV1 основан на алгоритме сжатия с потерями, который использует различные методы для уменьшения размера видеофайла без значительного снижения качества изображения. AV1 использует адаптивное квантование, которое позволяет ему эффективно распределять биты на блоки в зависимости от их содержимого. Это помогает сохранить детали и текстуры в сценах с высоким содержанием деталей, а также обеспечить лучшее сжатие для менее сложных сцен. Также AV1 использует различные преобразования сигналов, такие как дискретное косинусное преобразование и ортогональное преобразование Хаара для преобразования блоков изображения в частотную область перед их сжатием. При внедрении скрытого сообщения возможно использование внутренних углов предсказания [4].

Одним из способов внедрения секретного сообщения с использованием вышеперечисленных кодеков является использование внутрикадрового предсказания. Каждый кодек имеет свои особенности, которые могут влиять на выбор и эффективность стеганографического алгоритма. Для повышения эффективности и надежности стеганографии видео необходимо модифицировать алгоритмы, которые используются. Такие модификации могут быть направлены на увеличение емкости (максимального количества данных, которые могут быть скрыты в контейнере) и стойкости к атакам (уровень защиты скрытых данных к атакам).

ЛИТЕРАТУРА

1. Куликов Д.Л. Алгоритм стеганографии в видео с повышенной устойчивостью к искажениям // Новые информационные технологии в автоматизированных системах, №13. – 2010 – С. 303–305.
2. Goljan M. Searching for the Stego Key / M. Goljan, D. Soukal // Proc. SPIE, Electronic Imaging, Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents VI. – 2014. – P. 70–82.
3. Kunhoth, J., Subramanian, N., Al-Maadeed, S. Video steganography: recent advances and challenges // *Multimed Tools Appl* 82. –2023 – P. 41943–41985.
4. Catania L. Introducing AV1 Codec-Level Video Steganography // *International Conference on Image Analysis and Processing*. – Cham : Springer International Publishing, 2022. – P. 284–294.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕЙ НАГРУЗКИ ПРИ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ В СИСТЕМЕ ВИРТУАЛИЗАЦИИ РАБОЧИХ МЕСТ НА ОСНОВЕ PROXMOX VIRTUAL ENVIRONMENT

С развитием технологий виртуализации и облачных вычислений, все больше организаций используют системы виртуализации рабочих мест для оптимизации использования ресурсов и обеспечения гибкости в управлении. Одной из популярных платформ виртуализации является Proxmox Virtual Environment (PVE). PVE позволяет создавать и управлять виртуальными машинами (VM) с высокой степенью автоматизации и эффективности.

Однако, при использовании PVE возникает вопрос о влиянии количества запущенных VM на потребление ресурсов сервера, таких как память, ресурсы процессора и загрузку сети. В данной статье мы рассмотрим вопросы моделирования рабочей нагрузки при многопользовательской работе в системе виртуализации рабочих мест на основе Proxmox VE. Эта работа является продолжением работ [1–3].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Для моделирования рабочей нагрузки мы использовали следующие методы:

Анализ требований к ресурсам для каждой VM, определяющий количество виртуальных CPU, объем оперативной памяти и размер диска.

Определение параметров сервера виртуализации, таких как количество физических CPU, объем физической оперативной памяти и пропускная способность сети.

Расчет рабочей нагрузки для каждого пользователя путем умножения количества CPU, объема памяти и размера диска на коэффициент использования ресурсов.

Расчет общей рабочей нагрузки на сервер виртуализации путем суммирования рабочих нагрузок всех пользователей.

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ВИРТУАЛЬНОМУ КОМПЬЮТЕРУ.

При проектировании виртуального компьютера необходимо учитывать множество факторов, в том числе набор программного обеспечения, которое будет на нем использоваться.

В качестве операционной системы выбрана Windows 7 Professional. Эта операционная система является достаточно функцио-

нальной и, в то же время, не слишком требовательной к аппаратным ресурсам. Она обладает всеми необходимыми функциями для работы с офисными приложениями и системой компьютерной алгебры.

Для установки и нормальной работы операционной системы Windows 7 требуется процессор с тактовой частотой не менее 1 ГГц, 1 ГБ оперативной памяти (ОЗУ), а также 16 ГБ свободного пространства на жестком диске для 32-битной версии. Кроме того, для использования всех функций Windows 7 рекомендуется иметь видеокарту с поддержкой DirectX 9 и выше, а также звуковую карту.

Предполагается использование пакета Microsoft Office 2016 для работы с документами. Этот пакет содержит все необходимые инструменты для работы с текстом, электронными таблицами и презентациями. Кроме того, он включает в себя средство создания баз данных – Access.

Для нормальной работы Microsoft Office 2016 необходимо иметь процессор с тактовой частотой от 1 ГГц и выше, 2 ГБ ОЗУ, а также не менее 3 ГБ свободного пространства на диске.

Также на виртуальном компьютере будет установлена программа Mathcad 15, одна из самых популярных систем компьютерной алгебры. Это программное обеспечение предназначено для выполнения математических расчетов и построения графиков. Оно поддерживает работу с матрицами и векторами.

Mathcad 15, требует для своей работы процессор с тактовой частотой не ниже 600 МГц, 512 МБ ОЗУ и 300 МБ свободного пространства на жестком диске. Однако для более комфортной работы рекомендуется использовать процессор с тактовой частотой более 1,5 ГГц, 2 ГБ ОЗУ и более 500 МБ свободного места на диске. Также для работы Mathcad необходимо наличие операционной системы Windows XP или выше.

Таким образом, при создании виртуального компьютера следует уделить внимание следующим характеристикам: процессор: тактовая частота не менее 2,0 ГГц; оперативная память: не менее 4 Гб; жесткий диск: не менее 50 Гб свободного места; сетевой адаптер: поддержка Ethernet и Wi-Fi; видеокарта: встроенная, поддержка разрешения не менее 1024x768.

Эти характеристики позволят обеспечить стабильную работу всех необходимых приложений и комфортную работу пользователя.

Таким образом, для запуска 16 виртуальных машин, которые обеспечат возможность одновременной работы студентов одной группы, с указанными характеристиками нам потребуется сервер виртуализации Proxmox со следующими параметрами: количество физиче-

ских CPU - не менее 2; объем физической оперативной памяти - не менее 64 Гб; пропускная способность сети - не менее 1 Гб/с; количество сетевых адаптеров – не менее 2 (1 для управления сервером и 1 для сетевого взаимодействия VM); тип и количество дисков - не менее 800 (16 по 50) Гб для установки гостевых ОС и данных пользователя на каждую VM.

Для моделирования работы на удаленных рабочих местах был собран сервер со следующими характеристиками:

Процессор XEON E5-2650 V3 (10 ядер/20 потоков, базовая частота 2300 МГц и турбобустом до 2600 МГц на все ядра);

Материнская плата HUANAZHI X99-QD4 (1 процессорный разъем, 4 x DDR4 DIMM, четырехканальный режим работы памяти, поддержка ECC и non-ECC памяти, максимальный объём 128 Гб с частотой 1866/2133/2400 МГц (зависит от установленного CPU), дисковая подсистема позволяет работать с 6 x SATA 3.0 дисками, 1 x M2 Nvme, 2 x M2 NVME (pci-e x4@3.0);

Оперативная память SAMSUNG DDR4 ECC REG 8 ГБ 2133 MHz работающая в двухканальном режиме;

SSD диск SATA 3.0 объемом 120 ГБ.

На сервере была установлена операционная система PROXMOX VIRTUAL ENVIRONMENT.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В связи с тем, что параметры сервера не соответствуют требованиям, изложенным выше на сервере, одновременно запускалось не более трех VM (рис. 1). При этом использование процессора не превышало 3%, оперативной памяти 4,6 ГБ, раздела подкачки 9,75 МБ (рис. 2). По сети пересылалось не более 7 Мб/сек информации.

Результаты исследования показывают, что увеличение количества запущенных VM приводит к росту потребления ресурсов сервера. Вместе с тем, увеличение числа пользователей позволяет более эффективно использовать ресурсы сервера за счет разделения нагрузки между VM. Однако, это также может привести к снижению производительности каждой VM и увеличению времени ожидания.

Для получения максимальной производительности и удобства использования, необходимо выбирать аппаратные ресурсы с запасом. Особенно это касается оперативной памяти и свободного пространства на жестких дисках.

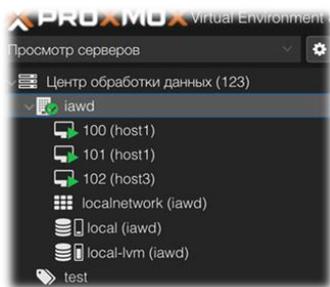


Рисунок 1 – Список запущенных VM

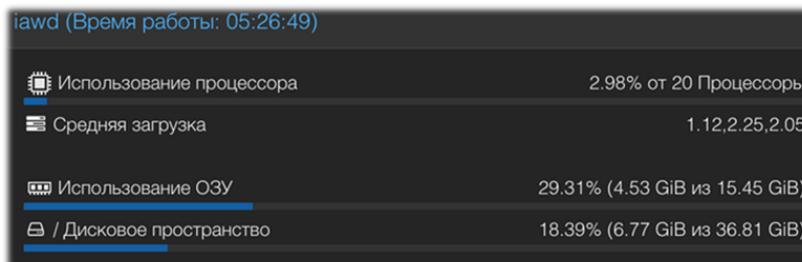


Рисунок 2 – Использование ресурсов сервера

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Таким образом, моделирование рабочей нагрузки позволяет определить оптимальное количество пользователей и VM, а также распределить ресурсы сервера для обеспечения максимальной эффективности использования ресурсов и удовлетворения потребностей пользователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кунцевич, С.В. Программные и аппаратные средства для организации дистанционного обучения / С.В. Кунцевич, С.А. Осоко // Информационные технологии : материалы 85-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1–13 февраля 2021 г. – Минск : БГТУ, 2021. – С. 198–201.

2. Осоко, С.А. Терминальные серверы и «тонкие клиенты» для системы образования / С.А. Осоко, С.В. Кунцевич // Информационные технологии : материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 января – 12 февраля 2022 г. – Минск : БГТУ, 2022. – С. 134–138.

3. Осоко, С.А. Влияние технологии виртуализации на скорость работы виртуальных машин / С.А. Осоко, С.В. Кунцевич // Информационные технологии. Физика и математика : материалы 87-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 31 янв. – 17 фев. 2023 г. [Электронный ресурс] / Белорус. гос. технол. ун-т; отв. за издание И. В. Войтов. – Минск, 2023. – С. 156–160.

ТРЕНДЫ В ДИЗАЙНЕ ПРЕЗЕНТАЦИЙ В 2024 ГОДУ

Тренды в дизайне презентаций можно разделить на несколько областей использования. Ниже представлены технологии, которые можно задействовать в дизайне презентаций с учетом возможностей приложений для их создания.

1. 3D и виртуальная реальность: Использование 3D-моделей, анимации и виртуальной реальности может усилить вовлеченность аудитории и сделать презентацию более запоминающейся.

2. Иммерсивный дизайн: Иммерсивный дизайн, основанный на принципе погружения пользователя в виртуальную среду, будет активно использоваться для создания уникальных и запоминающихся презентаций.

3. Искусственный интеллект и машинное обучение: Использование искусственного интеллекта и машинного обучения для автоматической генерации контента или анализа данных в реальном времени может значительно упростить процесс создания презентаций.

4. Биомимикрия и природа: Биомимикрия – это процесс копирования природных явлений и структур для создания инновационных дизайнерских решений. Этот тренд будет продолжать развиваться и в 2024 году.

5. Экологичность и устойчивость: Экологические концепции и принципы устойчивости будут играть ключевую роль в дизайне презентаций. Это может проявляться в использовании экологичных материалов, переработке старых слайдов и представлении информации о влиянии компании на окружающую среду.

6. Дополненная реальность и интерактивность: С помощью дополненной реальности можно будет добавить интерактивные элементы, которые будут взаимодействовать с аудиторией. Это позволит сделать презентации еще более увлекательными и полезными.

7. Голографические презентации: Голографические презентации позволяют создавать объемные изображения и объекты, которые могут быть представлены в трехмерном пространстве. Это делает презентацию более яркой и запоминающейся для зрителя.

8. VR-презентации: Виртуальные презентации в формате виртуальной реальности будут становиться все более популярными. Это позволит представить информацию в новом, увлекательном формате.

9. Дизайн, вдохновленный искусством: Дизайн презентаций будет вдохновляться различными видами искусства - от живописи до музыки. Это придаст презентациям оригинальность и уникальность.

10. Нейролингвистическое программирование: Тренд, связанный с использованием НЛП в дизайне презентаций, будет направлен на создание презентаций, которые стимулируют эмоции и вызывают определенные реакции у аудитории.

С точки зрения шрифтовой графики можно выделить следующие особенности.

1. Использование рукописных и каллиграфических шрифтов: Рукописные и каллиграфические шрифты будут оставаться популярными в 2024 году, так как они придают презентациям более личный и естественный вид.

2. Геометрические и минималистичные шрифты: Геометрические шрифты с их четкими линиями и минимальным дизайном будут продолжать доминировать на рынке, особенно в корпоративных презентациях.

3. Шрифты с засечками: Несмотря на то, что многие дизайнеры считают шрифты с засечками устаревшими, они все еще будут использоваться в определенных контекстах, например, для создания винтажного или классического вида.

4. Шрифты без засечек: Шрифты без засечек, такие как Helvetica и Open Sans, продолжают быть популярными, особенно для заголовков и выделения текста.

5. Курсивные и наклонные шрифты: Курсивные и наклонные шрифты, такие как Georgia и Times New Roman, будут использоваться для создания более элегантного и изысканного вида.

6. Шрифты с 3D эффектом: Шрифты с 3D эффектами, такие как Impact и Brush Script MT, будут популярны для создания ярких и привлекательных презентаций.

7. Шрифт под старину: Шрифт под старину, такой как Garamond и Bodoni, будет использоваться для создания винтажных и классических презентаций.

8. Нестандартные и экспериментальные шрифты: Нестандартные и экспериментальные шрифты, такие как Lobster и Futura, будут использоваться для придания уникальности и оригинальности презентации.

9. Моноширинные шрифты: Моноширинные шрифты, такие как Courier и Monaco, будут использоваться для создания кода и технических документов.

10. Шрифты, имитирующие рукописный текст: Шрифты, имитирующие рукописный текст, такие как Brush Script MT и Copperplate Gothic, будут использоваться для создания ощущения личного контакта с аудиторией.

Цветовая гамма и стилистика.

1. Природные и органические цвета: В 2024 году природные и органические цвета, такие как зеленый, синий и коричневый, будут особенно популярны в дизайне презентаций.

2. Яркие и насыщенные цвета: Яркие и насыщенные цвета, такие как красный, оранжевый и фиолетовый, также будут востребованы для привлечения внимания аудитории.

3. Минимализм и монохромность: Минималистичные и монохромные цветовые схемы будут популярны для создания профессиональных и элегантных презентаций.

4. Пастельные тона: Пастельные тона, такие как розовый, голубой и желтый, будут использоваться для создания мягких и успокаивающих презентаций.

5. Градиенты и текстуры: Градиенты и текстуры будут использоваться для добавления глубины и интереса к дизайну презентации.

6. Яркие акценты: Яркие акценты, такие как неоновые цвета или металлические оттенки, будут использоваться для привлечения внимания к важным элементам презентации.

7. Абстрактные и геометрические узоры: Абстрактные и геометрические узоры будут использоваться для создания оригинальных и инновационных презентаций.

8. Черно-белые презентации: Черно-белые презентации будут оставаться популярными для создания элегантных и профессиональных презентаций.

9. Ретро-стили: Ретро-стили, такие как винтажные цвета и текстуры, будут востребованы для создания ностальгического настроения.

10. Экологичность: Экологичные цвета, такие как зеленые и синие, будут использоваться для подчеркивания заботы о окружающей среде.

Особенности изображений.

1. Объемные иллюстрации: Использование объемных иллюстраций в презентации поможет создать более реалистичный и привлекательный контент.

2. Иллюстрации с элементами 3D: Добавление элементов 3D в иллюстрации сделает их более интересными и динамичными.

3. Иллюстрации в стиле минимализма: Минималистичный стиль иллюстраций становится все более популярным, поскольку он позволяет сосредоточиться на главном и не перегружать презентацию.

4. Иллюстрации с использованием природных мотивов: Использование природных мотивов в иллюстрациях придаст презентации более экологичный и натуральный вид.

5. Иллюстрации, имитирующие ручную работу: Имитация ручной работы в иллюстрациях добавит презентации уникальности и индивидуальности.

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ BIGDATA

Big Data – это такой массив данных, который настолько велик и сложен, что традиционные методы обработки и анализа не могут справиться с ним. Это может включать данные из различных источников, таких как социальные сети, интернет, мобильные устройства, датчики и многое другое. Big Data требует использования специальных инструментов и методов для обработки и анализа, чтобы получить ценную информацию из этого огромного объема данных [1]. Обработка больших объемов данных становится все более актуальной проблемой – с каждым днем генерируются огромные объемы информации, которые необходимо хранить, обрабатывать и анализировать. Это касается различных сфер деятельности – от науки и медицины до бизнеса и социальных сетей.

Актуальность проблемы обусловлена несколькими факторами:

1. *Рост объема данных:* с развитием технологий и увеличением числа подключенных устройств объем генерируемых данных растет экспоненциально. В 2021 году было создано 64 зеттабайта данных, что в 10 раз больше, чем в 2015 году.

2. *Разнообразие данных.* Данные могут быть текстовыми, аудио, видео, геопространственными и т.д. Все это требует различных подходов к их обработке и анализу.

3. *Скорость генерации данных.* Данные генерируются с большой скоростью, что требует быстрых и эффективных методов обработки и анализа.

4. *Неструктурированные данные.* Многие данные не имеют четкой структуры, что усложняет их обработку и анализ.

5. *Безопасность данных.* Необходимо обеспечить безопасность и конфиденциальность данных, чтобы предотвратить их утечку или неправомерное использование.

С данными проблемами позволяют справиться методы параллельных вычислений. Они позволяют распределить нагрузку между несколькими процессорами или ядрами, что увеличивает производительность и ускоряет процесс обработки. Кроме того, параллельные алгоритмы позволяют использовать ресурсы системы более эффективно, так как каждый процессор или ядро работает над своей частью задачи, а не над всей задачей в целом.

Параллелизм – это свойство систем, при котором несколько вычислений выполняются одновременно, и при этом, возможно, взаимодействуют друг с другом. Существует два вида: физический и логический.

Физический параллелизм – это метод, при котором несколько задач выполняются одновременно без взаимодействия друг с другом. Этот вид параллелизма используется для ускорения процесса обработки данных, так как каждая задача выполняется на отдельном процессоре или ядре.

Логический параллелизм (конкуренция) – это метод, при котором задачи выполняются одновременно, но взаимодействуют друг с другом через общие ресурсы. Этот вид параллелизма позволяет более эффективно использовать ресурсы системы, так как задачи могут выполняться одновременно на одном процессоре или ядре, если они не используют одни и те же ресурсы [2].

В настоящий момент существует несколько реализация параллельных алгоритмов.

Алгоритм MapReduce является одним из самых популярных параллельных алгоритмов – был разработан для обработки больших объемов данных и разделения работы между несколькими компьютерами. Этот алгоритм состоит из двух основных этапов: Map и Reduce. На этапе Map происходит обработка данных, а на этапе Reduce – объединение результатов.

Параллельное программирование на основе потоков (Thread-based) позволяет выполнять несколько операций одновременно, используя несколько потоков. Это может увеличить производительность программы, но также может привести к снижению ее эффективности, если не использовать потоки правильно.

Параллельное программирование с использованием процессов (Process-based) работает путем разделения задачи на несколько частей и выполнения каждой части на отдельном процессе. Это позволяет использовать несколько процессоров или ядер для выполнения задачи, что может значительно ускорить процесс.

GPU-ускорение позволяет использовать графические процессоры для ускорения вычислений. Последние имеют большое количество ядер, которые могут выполнять параллельные вычисления. Этот метод особенно полезен для задач, связанных с обработкой изображений и видео [3].

Преимущества параллельных алгоритмов в обработке больших данных (Big Data) заключаются в следующем:

1. Увеличение производительности: параллельные алгоритмы позволяют выполнять несколько операций одновременно, что увеличивает общую скорость обработки данных.

2. Улучшение масштабируемости: параллельные системы могут легко масштабироваться для обработки больших объемов данных, добавляя больше вычислительных ресурсов по мере необходимости.

3. Улучшение эффективности использования ресурсов: параллельные алгоритмы могут использовать ресурсы более эффективно, распределяя нагрузку между несколькими процессорами или ядрами.

4. Возможность обработки сложных задач: параллельные алгоритмы могут использоваться для решения сложных задач, которые могут быть слишком большими или сложными для традиционных последовательных алгоритмов.

Кроме того, как и любое решение, параллельная обработка данных имеет следующие недостатки:

Недостатки параллельных алгоритмов при обработке больших данных включают:

1. Сложность координации и управления параллельно работающими процессами: Параллельные алгоритмы обычно требуют распределения данных и работы между несколькими процессорами или узлами. Это может привести к сложностям в координации и управлении этими процессами, особенно при наличии различных архитектур и платформ.

2. Проблемы с синхронизацией: часто возникает необходимость в синхронизации и обеспечении когерентности данных между различными процессами. Ошибки в синхронизации могут привести к ошибкам в алгоритме и снижению производительности.

3. Проблемы с масштабируемостью: в некоторых случаях, увеличение числа процессоров или узлов может не привести к пропорциональному увеличению производительности из-за проблем с коммуникацией, ограничением ресурсов или другими факторами.

4. Сложность разработки и отладки: разработка и отладка параллельных алгоритмов может быть сложной задачей, так как необходимо учитывать множество факторов, таких как распределение данных, синхронизация, масштабируемость и т.д.

Таким образом для дальнейших исследований за основу возьмем алгоритмы на основе модели MapReduce, а также специализированные инструменты и библиотеки, которые упрощают разработку и оптимизацию параллельных процессов. Особое внимание в дальнейшем будет уделено изменению (доработке) существующих алгоритмов с учетом особенностей обрабатываемых данных, например, уве-

личению уровня кластеризации. Заслуживающей внимания безусловно является использование алгоритмов обработки на основе модели перцептрона, что в может позволить уменьшить объём обрабатываемых данных с использованием алгоритмов их прогнозирования части данных, что позволит сократить время и ресурсы на чтения всего потока данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ын, Анналин. Теоретический минимум по Big Data: все, что нужно знать о больших данных : пер. с англ. / Анналин Ын, Кеннет Су; [пер. с англ. А. В. Тимохин]. – Санкт-Петербург [и др.] : Питер: Прогресс книга, 2022. – 205 с.
2. Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений / В.П. Гергель. – Москва : Национальный Открытый Университет "ИНТУИТ", 2016. – 501 с.
3. Роби, Р. Параллельные и высокопроизводительные вычисления / Р. Роби, Д. Замора ; перевод с англ. А.В. Логунова. – Москва : ДМК Пресс, 2022. – 800 с.

УДК 004.05

С.А. Лукашевич, ст. преп.; А.Н. Купо, доц., канд. техн. наук;
Н.В. Лукашевич, оператор ЭВМ (ГГУ им. Ф. Скорины, г. Гомель)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОНЛАЙН ПРЕПОДАВАНИИ

В Гомельском государственном университете имени Франциска Скорины постоянно проводится анализ применяющихся как в Республике Беларусь, так и за рубежом образовательных технологий (образовательных платформ) с использованием ИКТ.

В настоящее время существует несколько десятков программ (платформ, систем) для организации видеоконференцсвязи, и их количество продолжает увеличиваться. Все они обладают примерно одинаковым функционалом и многие даже практически не отличаются интерфейсом. Вот некоторые из них: Livestorm, WebinarJam, ProfiConf, GoToMeeting, Easymeeting, SuiteBox, Adobe Connect, Skype, Google Hangouts Meet, Zoom, join.me, BlueJeans, BigBlueButton, UberConference, Intermedia Unite, Mikogo, Vast Conference, MegaMeeting, Cisco Webex, Unified Meeting, ezTalks, WebRoom [1].

Кроме того, активно развивались уже ранее себя зарекомендовавшие (на протяжении 7-8 лет) специализированные платформы онлайн-обучения: iSpring, GetCourse, We Study, ZenClass, Etutorium,

Gurucan, Clickmeeting, Teachbase, Stepik, Coursera, Arzamas, Пост-Наука, Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», Moodle, Claroline, Eliademy и многие другие [2–4].

Очевидно, что на первом этапе предпочтение стоит отдать бесплатным приложениям, поддерживающим наибольшее одновременное количество участников. При этом они должны быть не требовательны к ресурсам персонального компьютера, иметь возможность реализовать трансляцию содержания экрана, воспроизводить презентации в стандартном формате, с приемлемым качеством передавать звуковую и видеoinформацию, обеспечивать защиту от несанкционированных подключений.

По итогам двух семестров ушедшего пандемийного 2020го года можно сделать вывод, что основными платформами, посредством которых можно реализовать проведение различных типов занятий в дистанционной форме, являются: Jitsi Meet, Discord, Zoom, BigBlueButton (BBB), а также Moodle – веб-приложение, позволяющее создать настроенную персонально под пользователя систему управления обучением. Здесь в первую очередь речь идёт о бесплатных интернет-сервисах, как правило, с гибкой системой настроек и возможностью адаптации к различным образовательным задачам и типам занятий. На локальных серверах университета реализован сервис BBB, «привязанный» к сайтам университета stutor.gsu.by и dot3.gsu.by, доступным как из LAN, так из Internet. Помимо сугубо образовательных задач (проведение лекционных, практических занятий и семинаров) указанный сервис широко используется для проведения конференций (в том числе международных), вебинаров, совещаний и интернет-трансляций различного уровня.

Возможность интерактивного голосования и организация виртуальных комнат в рамках отдельной конференции позволяет использовать возможности BBB для проведения заседаний ректората, внутри-университетских совещаний и советов различного направления, предусмотрена возможность проведения совета университета.

Рассмотрим использование и особенности самих приложений более подробно. В *Jitsi Meet* поддерживаются такие возможности, как передача содержимого рабочего стола или отдельных окон, автоматическое переключение на видео активного докладчика, совместное редактирование документов в Etherpad, показ презентаций, стриминг конференции в YouTube, режим аудиоконференции, защита подключения паролем, режим «можно говорить во время нажатия кнопки», отправка приглашений для подключения к конференции в форме URL, возможность обмена сообщениями в текстовом чате. Jitsi Meet доступен как в форме отдельного приложения (в том числе для

Android и iOS), так и в форме библиотеки для интеграции на сайты. «Пиратские» подключения можно минимизировать путём создания надёжных паролей, где реализовано ограничение доступа на уровне пользователей (организаторов конференций) [5].

Zoom – это сервис для проведения видеоконференций, онлайн-встреч и создания групповых чатов. Основные возможности Zoom: совместное использование экрана, проведение вебинаров, комнаты для совместной работы, трансляция экрана с мобильного устройства, работа с Google Диск, Dropbox и Box, групповые чаты для обмена текстом, изображениями и аудио, подключение к мобильным устройствам, Windows, Mac, iOS, ZoomPresence, H.323 / SIP системам и телефонам. Пока единственным недостатком является ограничение времени конференции (до 40 мин.) в бесплатной версии этой платформы, хотя для коротких брифингов она вполне подходит [6].

BigBlueButton – это программное обеспечение с гибкой системой настроек, разработанное специально для платформ онлайн-обучения. Студентам не нужно устанавливать приложение, чтобы присоединиться к вебинарам, можно делиться своим экраном в режиме реального времени, а участники могут сотрудничать с помощью целого ряда инструментов, таких как виртуальные доски и общие заметки. На наш взгляд, это наиболее удобное приложение, как для образовательных целей, так и для проведения онлайн-совещаний и вебинаров [7].

Discord – изначально приложение, не предназначенное для проведения веб-конференций в традиционном формате. Есть много настроек, например, существует 5 различных типов (ролей) пользователей в одном и том же чате.

Преимущества: абсолютно бесплатная, есть как голосовые (видео), так и текстовые каналы (причём они разделены, и каждый с набором дополнительных настроек), возможность трансляции экрана.

Платформа *Moodle* в нашем университете развивается уже более 8 лет. Уже неоднократно проводились семинары и обучение по её использованию – она наиболее пригодна для передачи студентам неинтерактивного контента и для контроля знаний. Система непрерывно «наполняется» новой информацией. В большей степени это материалы для контроля знаний студентов как дневной, так и заочной форм обучения. При этом тестирование с использованием системы Moodle используется, как для текущего, так и для итогового контроля знаний студентов и слушателей подготовительных курсов. Указанная система уже неоднократно зарекомендовала себя положительно при проведении контроля знаний в рамках аккредитации университета.

Параллельно производилось совершенствование учебно-методического обеспечения образовательного процесса в цифровом формате. Планом развития университета в 2023г. было предусмотрено создание 115 электронных учебно-методических комплексов дисциплин (ЭУМК). Фактически создано 143 ЭУМК, что составило 125% от плана. При этом в течение года 160 ЭУМК, в том числе разработанные ранее, были зарегистрированы в Научно-инженерном республиканском унитарном предприятии «Институт прикладных программных систем» (НИРУП «ИППС») в Минске.

Согласно плану развития университета, в 2023г. предполагалось подготовить 75 электронных тестирующих программ по учебным дисциплинам. Фактически подготовлено 159 тестирующих программ.

Возможности, преимущества и недостатки всех платформ необходимо тщательно сравнить при будущем создании единой университетской системы онлайн-преподавания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Leading Digital Marketing Consultant Shane Barker [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shanebarker.com/blog/web-conferencing-and-online-meeting-tools/> – Дата доступа: 10.01.2024.

2. Официальный сайт «Postium» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://postium.ru/platformy-i-servisy-dlya-onlajn-obucheniya/> – Дата доступа: 10.01.2024.

3. Управление информационных образовательных технологий Образовательного центра Национального института образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://e-asveta.adu.by/index.php/distancionni-vseobuch/obuchenie-online/sredstva-dlya-organizatsii-obucheniya/116-platforms-for-teaching-organization> – Дата доступа: 10.01.2024.

4. «В контакте» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/services/79360-11-servisov-dlya-sozdaniya-onlayn-kursov> – Дата доступа: 10.01.2024.

5. Официальный сайт «Voxlink» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://voxlink.ru/kb/asterisk-configuration/multiplatformennaya-videokonferenciya-jitsi-meet-integraciya-s-asterisk/> – Дата доступа: 10.01.2024.

6. Официальный сайт «Startpack» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://startpack.ru/application/zoom> – Дата доступа: 10.01.2024.

7. Официальный сайт «Techradar» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.techradar.com/reviews/bigbluebutton> – Дата доступа: 10.01.2024.

УДК 681.58

А.А. Лаврик, маг.; А.А. Грибанов, доц., канд. техн. наук;
А.А. Мещерякова, доц., канд. техн. наук
(Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г. Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Промышленные предприятия в современном мире стремятся к эффективному использованию ресурсов, оптимизации производственных процессов и снижению негативного воздействия на окружающую среду. В этом контексте автоматизация играет ключевую роль, позволяя повысить эффективность работы оборудования, сократить расходы и снизить вероятность человеческих ошибок. Одним из важных элементов промышленной автоматизации является система управления котельными установками.

Целью данного исследования является анализ, оптимизация и повышение эффективности системы автоматизации котельной установки промышленного предприятия. Работа сфокусирована на выявлении потенциальных улучшений, увеличении энергетической эффективности и сокращении эксплуатационных расходов.

Первый этап исследования включает в себя тщательный обзор существующей системы автоматизации котельной установки. Так же следует оценить параметры работы котлов, системы управления, исследовать сенсоры и датчики, а также протоколы связи между компонентами. Важным аспектом является также анализ данных о производственных циклах, расходе топлива и энергии, а также статистики по неисправностям и техническому обслуживанию.

Многие промышленные предприятия используют в своей работе котлы ДКВР (двухбарабанный котел водотрубный реконструированный) обеспечивая процессы теплоснабжения и производства пара. Котлы данного типа обладают рядом преимуществ, которые выделяют их среди аналогичных устройств. Основным достоинством котлов ДКВР является их выдающаяся паропроизводительность и высокий КПД, достигаемый даже при низком давлении пара. Еще одним значительным преимуществом этой конструкции котлов является отсутствие необходимости использования предварительно подготовленной воды.

В роли объекта автоматизации котёл представляет себя высоко-технологичную систему с взаимосвязанными параметрами. Устойчивость работы установки достигается за счёт постоянного поддержания

определённого режима, определение которого осуществляется на основе нахождения параметров установки в предварительно заданных диапазонах. Это подразумевает необходимость непрерывного мониторинга и коррекции ключевых характеристик котла для обеспечения его эффективной и безопасной эксплуатации.

Котельная установка представляет собой сложный и взаимосвязанный объект. На функциональной схеме, представленной на рис. 1, отображен базовый уровень автоматизации. На данной схеме автоматизации котельной установки представлены не все имеющиеся контуры и средства автоматизации.

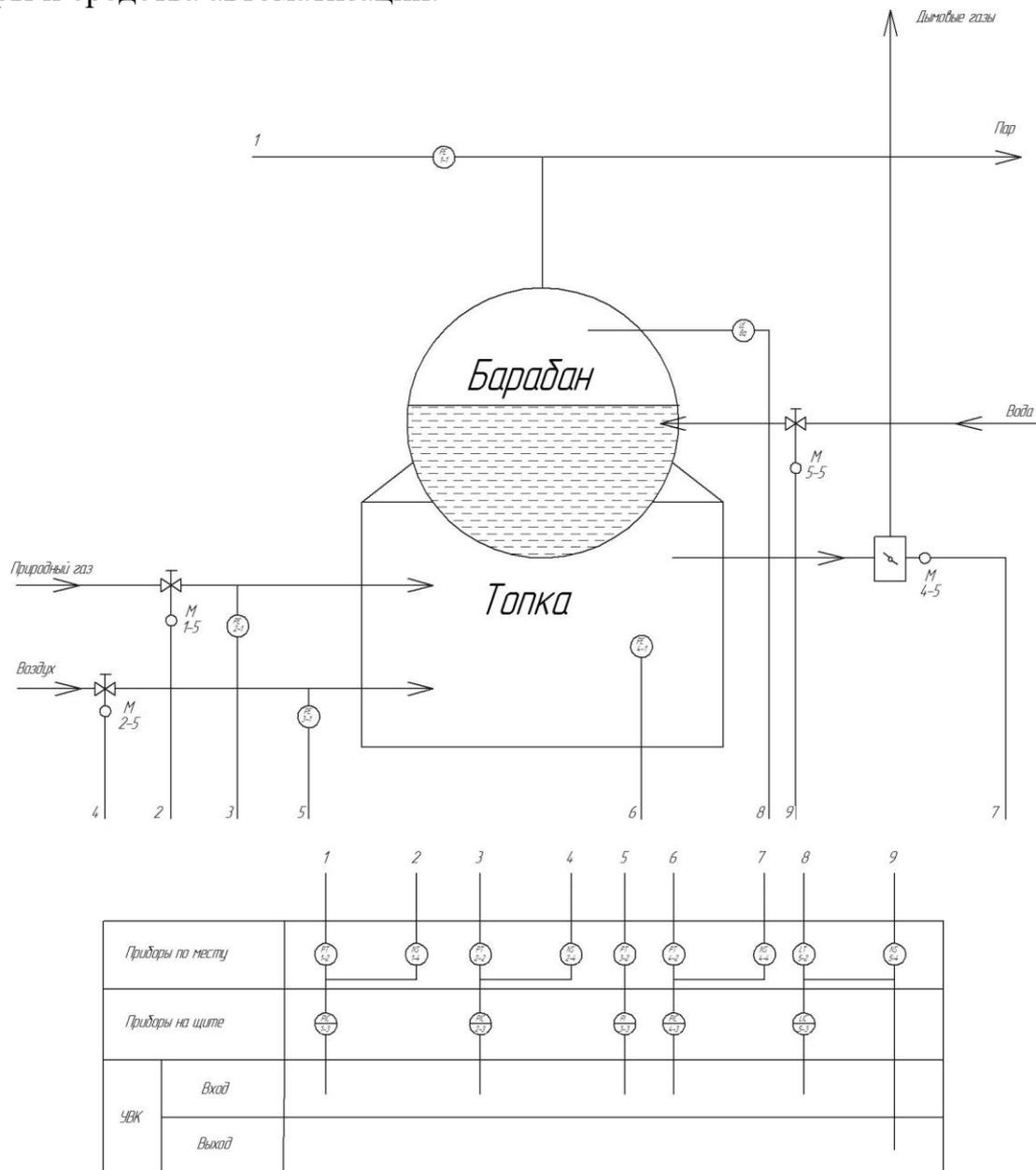


Рисунок 1 – Функциональная схема автоматизации котельной установки

В схеме автоматизации (рис. 1) датчик РЕ/1-1 и клапан М/1-5 контролирует давление пара в барабане котла. Подача природного газа в топку котла осуществляется при небольшом избыточном давлении, которое регулируется контуром с датчиком РЕ/2-1 и клапаном М/2-5, который осуществляет подачу газа. Воздух, необходимый для сжигания топлива, подается в топку через воздухопровод с использованием дутьевого вентилятора. Датчик РЕ/3-1 контролирует давление воздуха перед топкой, и подача регулируется электрическим приводом клапана М/2-1, управляющим шибером. Давление в топке котла контролируется датчиком РЕ/4-1 и регулируется шибером с электрическим приводом М/4-5. Уровень воды в барабане котла поддерживается с использованием датчика LE/5-1, а подача питательной воды регулируется клапаном с электрическим приводом М/5-5. Во всех случаях электрическим приводом (исполнительным механизмом - ИМ) служат МЭО – механизмы электрические однооборотные, обеспечивающие перемещение регулирующего органа от открытого положения к закрытому и обратно за один оборот.

В результате экспериментального исследования методом идентификации объект автоматизации – котельная установка – представляет собой апериодическое звено первого порядка с запаздыванием и может быть представлен передаточной функцией [1, 2]:

$$W_{об}(S) = \frac{k_{об}}{T_{об}S} \cdot e^{-\tau_{об}S},$$

где $k_{об}$ – коэффициент усиления объекта; $T_{об}$ – постоянная времени объекта, с; $\tau_{об}$ – время транспортного запаздывания, с; S – оператор Лапласа.

На основе полученных данных следует провести разработки и предложения по оптимизации процессов работы котельной установки. Оптимизацию системы регулирования следует проводить в программе MatLab Simulink (рис. 2). Такие работы могут включать в себя улучшение алгоритмов управления, внедрение новых технологий для повышения эффективности сгорания топлива, а также оптимизацию графика технического обслуживания.

Одним из важных аспектов оптимизации является повышение энергетической эффективности котельной установки, что может быть достигнуто не только путем сокращения расхода топлива, но и использованием возобновляемых источников энергии. Внедрение экологически устойчивых технологий и методов снижения выбросов вредных веществ способствует соблюдению экологических стандартов и уменьшению воздействия на окружающую среду.

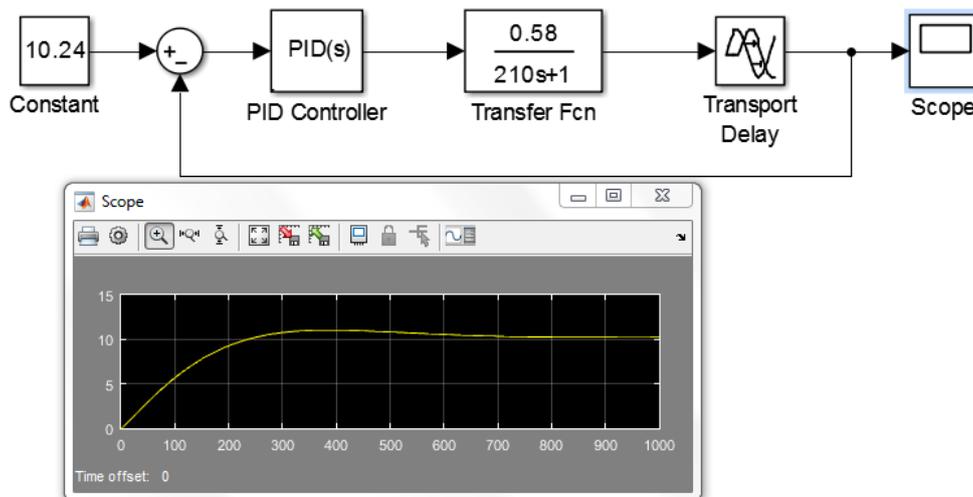


Рисунок 2 – Исследование и оптимизация системы управления котельной установкой в MatLab Simulink

Исследование системы автоматизации котельной установки промышленного предприятия – это важный этап в стремлении к повышению эффективности и устойчивости производственных процессов. Оптимизация и внедрение новых технологий не только улучшают работу оборудования, но также способствуют более эффективному использованию ресурсов и содействуют снижению негативного воздействия на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грибанов, А.А. Настройка автоматических регуляторов методом идентификации технологических объектов управления / А.А. Грибанов, Ю.А. Пяткова // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве : материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 25 сентября 2020 года / Редакционная коллегия: В.И. Оробинский, В.Г. Козлов. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2020. – С. 155–160.

2. Грибанов, А.А. Идентификация параметров промышленных объектов управления / А.А. Грибанов, А.С. Василенко // Интеграция и развитие научно-технического и образовательного сотрудничества – взгляд в будущее : Сборник статей II Международной научно-технической конференции. В 3-х томах, Минск, 11–12 декабря 2019 года. Том 2. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2020. – С. 45–48.

К.Н. Гладкова, ассист.,
Я.М. Демяненко, доц., канд. физ.-мат. наук
(Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия)

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОЗЫ ЧЕЛОВЕКА В СФЕРЕ ТРЕНИРОВОК ПО ЙОГЕ

Сфера применения моделей human pose estimation (HPE) в основном представлена спортом и медициной. Например, существует ряд приложений, выполняющих роль личного тренера и контролирующей технику выполнения различных упражнений. Приложение HomeCourt [1] анализирует движения баскетболистов и помогает им оценить их уровень игры и вырабатывает рекомендации для улучшения их навыков. Приложение Zenia Yoga [2] определяет правильность выполнения асан (поз) и таким образом делает опыт занятий дома безопаснее и продуктивнее. Однако с сентября 2023 года это приложение изъято из всех маркетплейсов.

Задача распознавания позы человека состоит в нахождении на изображении определенных ключевых точек (КТ) тела, таких как голова, плечи, локти, руки и так далее. По этим КТ и связям между ними воссоздается положение «скелета» позы. Главными проблемами при такой постановке задачи является широкое разнообразие поз и трудности точного определения КТ, когда они являются невидимыми с данного ракурса. Применительно к йоге это происходит почти во всех асанах сидя или «скручивающих» асанах.

Для решения этой задачи существует несколько различных подходов и моделей. Одной из первых успешных моделей определения позы одного человека стала модель «обучения с учителем» DeepPose [3] на основе глубоких нейронных сетей (DNN, Deep Neural Network). Она предсказывает конкретные координаты (x, y) КТ на входном изображении, при том, что КТ на изображении не ограничивается одним пикселем, а часто занимает некоторую область. Архитектура модели довольно проста: она состоит из каскада регрессионных блоков (рис. 1). Каждый блок состоит из семи слоев, где пять из них – сверточные и два – полносвязные. Цель блока – найти, а затем уточнить координаты интересующей точки тела, уменьшая зону поиска на каждой стадии.

Следующий подход использует сверточные нейросети (CNN, Convolutional Neural Network) [4] для регрессии не координат КТ, а пространственной карты распределения вероятности (heatmap) (рис.

2). Такой вариант предсказаний уменьшает ошибку при обучении, так как лучше описывает поведение КТ.



Рисунок 1 – Слева: Схематический вид DeepPose. Слои сети обозначены с собственными измерениями: сверточные слои – синие, полносвязные – зеленые. Справа: на стадии s уточняющий регрессор применен к части изображения для уточнения предсказания предыдущей стадии

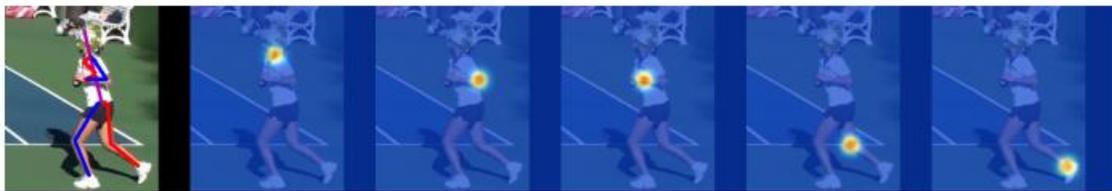


Рисунок 2 – Пример выхода в виде пространственной карты распределения вероятности, где каждая относится к определенной точке тела человека

Основной принцип этой модели – использование изображения в семи различных разрешениях (рис. 3), что помогает избавиться от необходимости использования метода «скользящего окна», что значительно ускоряет вычисления. Что позволяет заметить зависимости разного масштаба. В то время как локальные данные необходимы для идентификации таких особенностей, как лицо и руки, окончательная оценка позы требует глобального контекста.

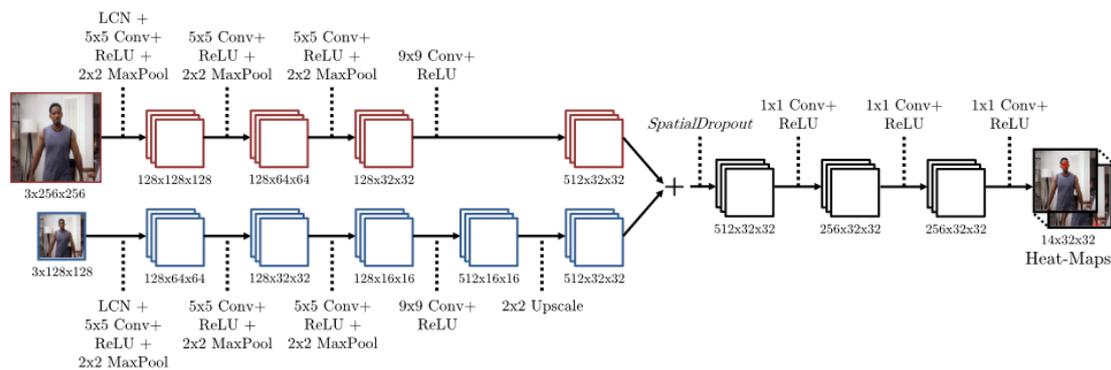


Рисунок 3 – Детектор со скользящим окном с перекрывающимися контекстами, применяющийся к изображению в различных разрешениях

Более продвинутым подходом является так называемая «последовательность песочных часов» (stacked hourglasses) [5]. Сходство с песочными часами блокам обучения придает последовательность

сверточных (pooling) и развертывающих (upsample) слоев, последовательно уменьшающих, а затем увеличивающих размерность изображения (рис. 4). Это повторяет предыдущую идею, но теперь модель может проследить взаимосвязь между масштабами и делать более точные целостные выводы о положении КТ.

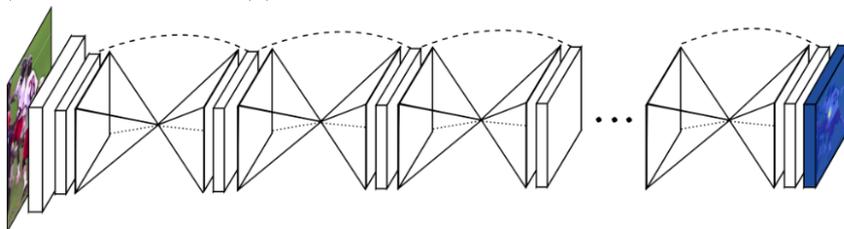


Рисунок 4 – Общий вид модели stacked hourglasses, состоящей из нескольких блоков «песочных часов»

Между слоями одинаковой размерности пропущены связи (рис. 5) для того, чтобы данные, потерянные при уменьшении размерности внесли свой вклад. Ориентация человека, расположение его конечностей и взаимоотношения соседних суставов входят в число многих признаков, которые лучше всего распознаются на изображении в разных масштабах. Применяя блоки песочных часов последовательно, модель вычисляет потери каждого блока и корректирует предсказания.

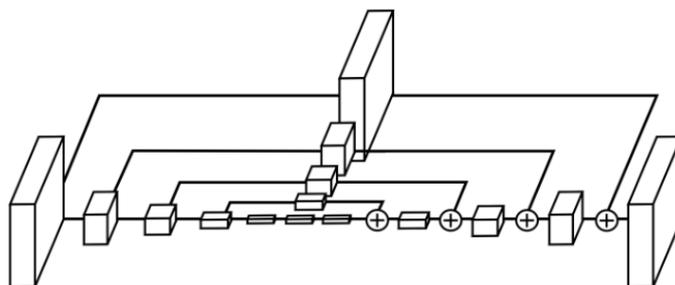


Рисунок 5 – Блок «песочных часов»

Одной из самых быстрых моделей на сегодняшний день является OpenPose [6], основная задача которой определять позы нескольких людей на изображении. Так же используя карту распределения вероятностей, как и в примерах выше, модель расширяет её картами аффинных полей. Это поля двумерных векторов, кодирующих расположение и ориентацию конечностей на изображении (рис. 6), что помогает ассоциировать части тела с конкретными людьми и корректно определить несколько поз на изображении. Карты распределения вероятностей и карты аффинных полей строятся одновременно независимо друг от друга, что позволяет ускорить обучение с помощью параллельных вычислений.

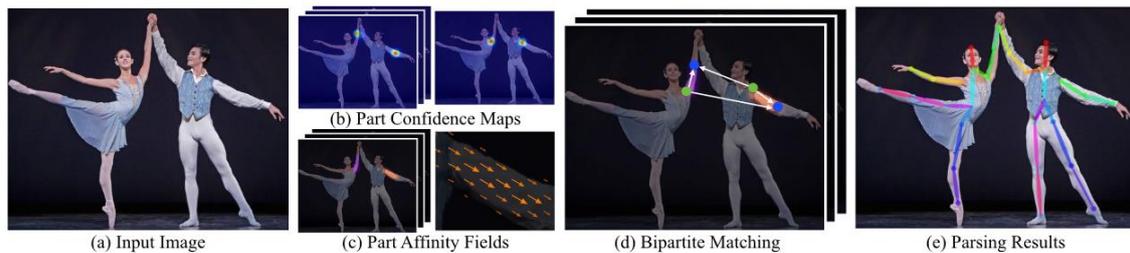


Рисунок 6 – Оценка изображений: (а) – входное изображение, (b) – карты распределения вероятностей для нахождения частей тела, (с) – карты аффинных полей для ассоциации частей тел. (d) – сведение соответствующих карт вероятностей и полей для ассоциации частей тел с людьми. (е) – объединение всех результатов

Все описанные выше модели являются представителями моделей «обучения с учителем», а значит – требуют большой набор качественно размеченных данных. К сожалению, пока нет специализированных размеченных датасетов, содержащих всё широкое разнообразие асан с разных ракурсов. Тем не менее, существуют модели «обучения без учителя», которые самостоятельно могут отыскивать зависимости на изображениях и не требуют дорогостоящей подготовки данных.

В статье [7] предложен подход определения позы через изменение базового шаблона «скелета» путем аффинных преобразований. Для обучения модель использует следующий алгоритм: из случайного изображения получает карту силуэта, потом берет другое изображение и преобразовывает его под вычисленный силуэт и в конце сравнивает выходное и первое изображения на совпадения (рис. 7). Такой подход отлично подходит для оценки поз младенцев и может использоваться в медицине для ранней диагностики различных неврологических заболеваний, но он сильно проигрывает в точности предсказаний КТ взрослых людей моделям «с учителем» ввиду сложности их поз и частой невидимостью КТ.

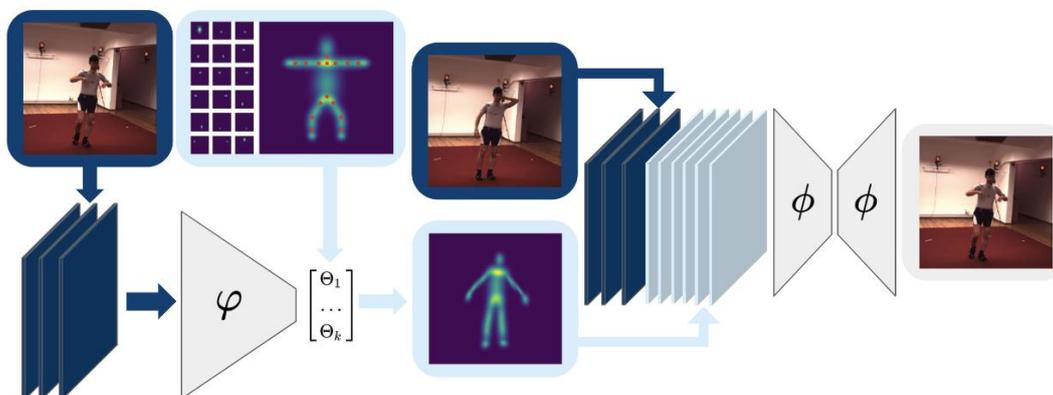


Рисунок 7 – Пример обучения модели

В рамках задачи распознавания позы человека в сфере тренировок по йоге нами используется модель на основе архитектуры «последовательности песочных часов», как быстрая и точная модель, строящая предсказания в виде карты распределения вероятностей и на основании системного анализа изображения в разных масштабах. При этом она была обучена на общем размеченном датасете поз людей MPII [8]. В дальнейшем предполагается дообучить её на самостоятельно собранном из открытых источников датасете, размеченном обученными и проверенными моделями в открытом доступе.

ЛИТЕРАТУРА

1. HomeCourt [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.homecourt.ai/> – Дата доступа 05.01.2024.
2. Йога глазами дата-сайентиста: как мы строили computer vision в мобильном приложении [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/555162/> – Дата доступа: 05.01.2024.
3. Toshev A., Szegedy C. DeepPose: Human Pose Estimation via Deep Neural Networks [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1312.4659.pdf> – Дата доступа: 03.01.2024.
4. Tompson J., Goroshin R., Jain A., LeCun Y., Bregler C. Efficient Object Localization Using Convolutional Networks [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1411.4280.pdf> – Дата Доступа: 03.01.2024.
5. Newell A., Yang K., Deng J. Stacked Hourglass Networks for Human Pose Estimation [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1603.06937.pdf> – Дата доступа: 03.01.2024.
6. Cao Z., Hidalgo G., Simon T., Wei S., Sheikh Y. OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1812.08008.pdf> – Дата доступа: 04.01.2024.
7. Schmidtke L., Vlontzos A., Ellershaw S., Lukens A., Arichi T., Kainz B. Unsupervised Human Pose Estimation through Transforming Shape Templates [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/2105.04154.pdf> – Дата доступа: 04.01.2024.
8. MPII Human Pose Dataset [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://human-pose.mpi-inf.mpg.de/> – Дата доступа: 06.01.2024.

УДК 004.89:001.89(476)

Д.А. Бяляўскі, аператар ПЭВМ;
В.В. Дыдо, стажор мл. навук. супр.;
Я.С. Зяноўка, мл. навук. супр.;
Д.І. Латышэвіч, мл. навук. супр.;
А.А. Бакуновіч, мл. навук. супр.;
В.С. Собаль, аператар ПЭВМ;
Ю.С. Гецэвіч, канд. тэхн. навук, заг. лаб. (АПП НАН Беларусі, г. Мінск)

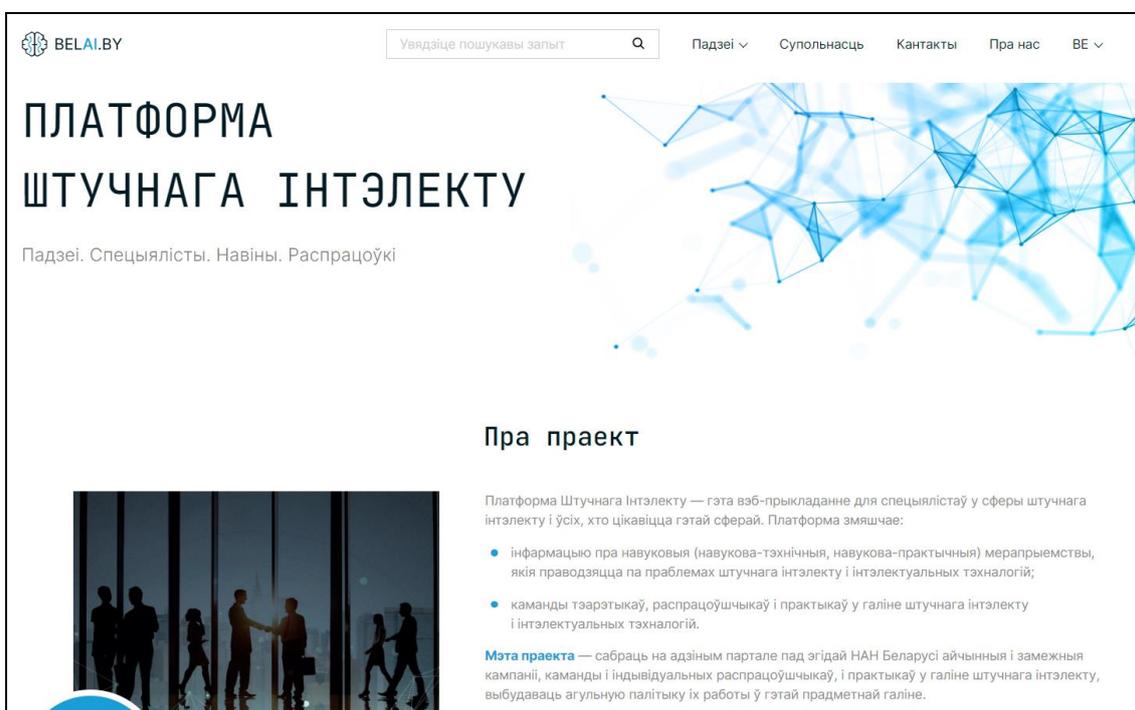
ПЛАТФОРМА BELAI.BY ДЛЯ АБ'ЯДНАННЯ ДАСЛЕДАВАННЯЎ І ІНАВАЦЫЙ У СФЕРЫ ШТУЧНАГА ІНТЭЛЕКТУ

У сучасным высокатэхналагічным асяроддзі штучны інтэлект (ШІ) займае адну з вядучых пазіцый, што прыводзіць да інтэнсіўнага развіцця навукі і прамысловасці. Рэспубліка Беларусь ужо дасягнула значных поспехаў у галіне ІТ-распрацовак, біятэхналогій, робататэхнікі і іншых сфер навуковых даследаванняў [1, 2]. Аднак большая колькасць прадуктаў знаходзіцца ў закрытым доступе ці носіць камерцыйны характар. Для агульнага акамулявання ўсіх інавацыйных распрацовак і прадуктаў ШІ Аб'яднаны інстытут праблем інфарматыкі Нацыянальнай акадэміі навук, у прыватнасці лабараторыя распазнавання і сінтэзу маўлення [3], стварыла лічбавую платформу BELAI.BY [4] у рамках дзяржаўнай праграмы навуковых даследаванняў «Лічбавыя і касмічныя тэхналогіі, бяспека чалавека, грамадства і дзяржавы» на 2021–2025 гады.

Гэта праект, які накіраваны на аб'яднанне беларускіх вучоных, даследчыкаў і распрацоўшчыкаў у агульную навуковую супольнасць для сістэматызацыі інавацыйных прадуктаў і праектаў у гэтай галіне (мал.1). BELAI.BY дазволіць на адзіным партале, пад эгідай НАН Беларусі, не толькі прадстаўляць айчынныя і замежныя кампаніі, каманды і індывідуальных распрацоўшчыкаў і практыкаў, але і выбудаваць агульную палітыку іх працы ў дадзенай прадметнай вобласці.

Галоўнымі задачамі платформы выступаюць збор звестак пра інавацыйныя прадукты і праекты і іх сістэматызацыя, устанавленне сувязяў паміж навуковымі супольнасцямі і абмен вопытам, ведамі і тэхналогіямі [5]. Доступ да канцэптуальнага вэб-дадатку прадстаўлены на афіцыйным сайце <https://belai.by/>. Платформа дае доступ да каталога арганізацый, якія займаюцца даследаваннямі і распрацоўкай прадуктаў ШІ. У галіны працы з ШІ ўваходзяць распрацоўкі ў робататэхніцы, апрацоўцы выяў, тэксту, гуку і маўлення; ужыванне штучнага інтэлекту ў медыцыне, адукацыі, прамысловай і бытавой сферах,

у дарожным руху і інш. Кожныя арганізацыя/аддзел/лабараторыя прадстаўляюць апісанне сваёй дзейнасці, напрамкі працы і кантакты, па якіх з імі можна звязацца. Таксама кожны карыстальнік можа атрымаць актуальную інфармацыю пра запланаваныя навукова-практычныя мерапрыемствы, выставы, канферэнцыі на старонцы “Падзеі”. У гэтым жа раздзеле прадстаўлены апошнія навіны і айчыныя даследаванні ў галіне ШІ. Акрамя таго, платформа прапаноўвае зваротную сувязь распрацоўшчыкаў з карыстальнікамі, дзе апошнія могуць заставіць свае даныя/каментары/звароткі ці напamую звязацца з распрацоўшчыкамі, выкарыстаўшы прадстаўленыя кантактныя даныя.



Малюнак 1 – Галоўная старонка платформы штучнага інтэлекту BELAI.BY

Пры распрацоўцы афіцыйнага сайта па зборы даных ШІ і інтэлектуальных тэхналогій для зацікаўленых выкарыстаны наступны тэхналагічны стэк:

1. PHP: Серверная тэхналогія праграмавання, якая выкарыстоўваецца для апрацоўкі запытаў і вываду дынамічнага кантэнту;
2. MySQL: База даных для захоўвання інфармацыі пра карыстальнікаў, паведамленні, каментары і іншыя даныя на сайце;
3. HTML/CSS: мовы разметкі і стыляў для стварэння вонкавага выгляду і макета вэб-старонак;
4. JavaScript: кліенцкая тэхналогія праграмавання, што выкарыстоўваецца для стварэння інтэрактыўных элементаў, анімацыі і іншых сцэнарыяў на вэб-сайце;

5. CSS-перадпрацэсары (напрыклад, Sass або LESS) для спрашчэння і паляпшэння напісання CSS-стыляў;
6. REST API: Падтрымка REST API дазваляе ўзаемадзейнічаць з платформай праз знешнія прыкладанні і сэрвісы;
7. Git: размеркаваная сістэма кантролю версій, прымененая для кіравання зменамі, сумеснай працы і адсочвання кода;
8. Nginx/Apache: вэб-серверы, якія апрацоўваюць і выдаюць вэб-старонкі;
9. DNS: інфраструктура для прывязкі дамена да вэб-серверу і забеспячэння даступнасці сайта ў інтэрнэце;
10. SSL/TLS: пратаколы шыфравання, якія забяспечваюць бяспечную перадачу даных паміж кліентамі і серверам;
11. Caching: тэхналогіі для аптымізацыі хуткасці загрузкі старонкі і паляпшэння прадукцыйнасці сайта;
12. SEO: метады і плагіны для аптымізацыі вэб-сайта і паляпшэння яго пошукавай бачнасці.

Выкарыстаны тэхналагічны стэк адказвае сучасным патрабаванням да пабудовы сайта і дазваляе надзяліць прадукт распрацоўкі надзейнасцю і бяспекай выкарыстання, а таксама высокім узроўнем аптымізацыі і тэхнічнай падтрымкі.

У дапаўненне да Платформы штучнага інтэлекту супрацоўнікі лабараторыі распазнавання і сінтэзу маўлення АППі НАН Беларусі таксама стварылі тэлеграм-канал BelAI (спасылка на канал: <https://t.me/belaiplatform>) як дадатковы інструмент асвятлення галоўных падзей, навін і даследаванняў у сферы ШІ. Мэта канала заключаецца ў распаўсюджванні інфармацыі аб сусветных і айчынных дасягненнях з выкарыстаннем штучнага інтэлекту. Для сваіх чытачоў партал прапаноўвае актуальныя навіны, пашырае веды аб ШІ, падкрэслівае яго значнасць і ўплыў, звяртае ўвагу на этычныя пытанні і натхняе навукоўцаў і даследчыкаў у гэтай галіне. Галоўнай ідэяй канала выступае інфармаванне, адукацыя, прасоўванне, свядомае выкарыстанне і стымуляцыя да новых распрацовак ШІ. Telegram-канал BELAY выконвае ролю рэзервовага сховішча даных аб распрацоўках і навінавым фоне ШІ. Дадаткова, ён выступае ў якасці аднаго з сучасных і самых хуткіх інструментаў па зборы даных штучнага інтэлекту і інтэлектуальных тэхналогій для ўсіх зацікаўленых.

Мэта прадстаўленых праектаў – развіць паўнаўвартасную платформу, дзе навукоўцы, аматары камп'ютарных тэхналогій і іншыя змогуць ствараць сховішча даных ШІ, дзяліцца сваімі вынікамі, праводзіць саборніцтвы і прапаноўваць ідэі для рэалізацыі. Стварэнне платформы для штучнага інтэлекту BELAI.BY будзе садзейнічаць

яго развіццю і пашырэнню магчымасцяў выкарыстання праектаў беларускіх распрацоўшчыкаў. Платформа дазволіць хутчэй знаходзіць экспертаў для праектаў і аб'ядноўваць зацікаўленыя каманды. А вядзенне Telegram-канала даволі простае ў кіраванні і не патрабуе спецыяльных навыкаў праграмавання. Навінавы канал дае выдатную магчымасць падзяліцца інфармацыяй шырокай аўдыторыі, быць у курсе апошніх падзей і трымаць у курсе мэтавую групу карыстальнікаў.

ЛІТАРАТУРА

1. Гецэвіч, Ю.С. Комплекс сродкаў рэалізацыі задач штучнага інтэлекту для беларускай мовы / Ю.С. Гецэвіч, Я.С. Зяноўка, А.С. Трафімаў, А.А. Бакуновіч, Д.І. Латышэвіч, А.Я. Драгун, М.М. Слесарава, М.С. Тукай // Первая выставка-форум IT-академграда «Искусственный интеллект в Беларуси» / ОИПИ НАН Беларуси ; . – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – С. 64–73.

2. Гецэвіч, Ю.С. Тэхналогіі аўтаматычнай апрацоўкі і аналізу маўлення з прымяненнем штучнага інтэлекту / Ю.С. Гецэвіч, В.В. Дыдо, Д.А. Бяляўскі [і інш.] // II Форум IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси» : доклады, Минск, 12–13 октября 2023 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2023. – С. 71–78.

3. Лабараторыя распазнавання і сінтэзу маўлення [Электронны рэсурс]. – 2023. – Рэжым доступу: <http://ssrlab.by/>. – Дата доступу: 11.09.2022.

4. ПЛАТФОРМА ШТУЧНАГА ІНТЭЛЕКТУ [Электронны рэсурс]. – 2023. – Рэжым доступу : <https://belai.by/>. – Дата доступу : 16.08.2023.

5. Зяноўка, Я.С. BELAI.BY – платформа штучнага інтэлекту / Я.С. Зяноўка, Д.А. Бяляўскі, В.В. Дыдо [і інш.] // II Форум IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси» : доклады, Минск, 12–13 октября 2023 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2023. – С. 104–111.

И.В. Ремизова, зав. кафедрой, канд. техн. наук;
Н.Л. Леонова, ст. преп.
(СПбГУПТД Высшая школа технологии и энергетики,
г. Санкт-Петербург, Россия)

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ И QR-КОДОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УЧЕБНЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ ПЛАТФОРМЫ UNITY

В современном мире технологические инновации проникают во все сферы жизни, в том числе и образование. Одной из перспективных технологий в постиндустриальном мире является дополненная реальность (Augmented Reality, AR). Такой вид виртуальной реальности открывает новые возможности получения, обработки, анализа и оценки новой информации, что особенно актуально для молодого поколения.

Инновационные технологии позволяют расширить границы реального мира, добавляя к нему дополнительные элементы и объекты, обогащающие понимание окружающей среды. AR открывает двери к новым образовательным возможностям, позволяя визуализировать сложные концепции, изучать пространственные взаимосвязи и взаимодействовать с информацией на более глубоком уровне. Это полезный инструмент, преодолевающий границы традиционных подходов к обучению и открывающий новые пути для расширения знаний и навыков. Возможности технологии дополненной реальности только начинают раскрывать свой потенциал в образовании и взаимодействии с информацией [1]. Использование дополненной реальности в учебном процессе имеет основную цель – обогатить учебный материал, сделать его интерактивным и доступным для студентов и школьников, а также стимулировать их интерес и мотивацию к обучению. И как следствие, разработка мобильного приложения, основанного на технологии дополненной реальности и представляющего собой потенциально эффективный инструмент обучения, приведет к значительному улучшению образовательного процесса.

При использовании Android-устройств в качестве целевой платформы оптимальным подходом к разработке мобильного приложения является выбор среды Unity с технологией интерактивной визуализации трёхмерных объектов средствами дополненной реальности с интеграцией AR Foundation. Среда разработки Unity – кроссплатформенный игровой движок и полноценная среда для создания компьютерных игр, включающая совокупность программного обеспечения для реализации готового программного продукта. На сегодняшний

день индекс популярности среды Unity составляет 45%, что делает Unity самым популярным игровым движком в мире. Популярности среде добавляет и бесплатная модель распространения для проектов с оборотом не более 100 тыс. долл. за последние 12 месяцев [2]. Готовые проекты, созданные в Unity легко перенести на персональные компьютеры (Windows, macOS, Linux), консоли (PlayStation, Xbox, Nintendo Switch), мобильные устройства (iOS, Android), системы виртуальной (Oculus Rift, HTC Vive) и дополненной реальности (ARKit, ARCore, HoloLens). Также, благодаря поддержке компонентов DirectX и OpenGL, среда Unity обеспечивает гибкость настройки графики реализуемых приложений, предоставляет возможность настройки физики объектов и создания сложных анимаций. Для разработки проектов в Unity доступна поддержка 2D- и 3D-проектов, большого количества плагинов и библиотек, которые позволяют расширить функциональность движка.

Функциональные требования к мобильному приложению включают в себя генерацию QR-кодов для последующего использования, возможность их считывания, распознавание и отображение AR-контента. Перечень нефункциональных требований включает в себя: интуитивно понятный интерфейс, плавное и отзывчивое отображение AR-контента на экране мобильного устройства, производительность, поддержку различных моделей и версий мобильных устройств, обеспечивая корректное отображение AR-контента, безопасность личных данных, реализацию на русском языке, портретную ориентацию экрана при использовании мобильного устройства, использование движка Unity и языка программирования C#. Для создания приложения в проекте должна быть реализована дополненная реальность посредством 3D-моделей, привязанных к определённым маркерам, в роли которых выступают QR-коды, создаваемые специальным генератором.

Основой для разработки приложения стало учебное пособие А. Д. Александрова, А. Л. Вернера, В. И. Рыжика «Стереометрия геометрия в пространстве» [3]. Приложение, основанное на AR-технологии, позволит отобразить различные фигуры в пространстве, такие как шар, куб, конус, цилиндр и другие. С помощью этого приложения обучающиеся смогут наглядно представить объёмные тела и изучить их особенности и свойства. Это сделает процесс обучения интерактивным и позволит лучше представлять геометрические конструкции. Формирование QR-кодов осуществляется посредством специально созданного приложения генерации, написанного с использованием языков программирования C# и Java. Достоинствами этого подхода можно назвать простоту и отсутствие необходимости при-

влечения денежных средств, поскольку генератор работает по методу кодировки предложений. При наведении камеры на QR-код будут выдаваться определённые словосочетания, и только при использовании созданной программы будут отображаться 3D-модели. Для хранения QR-кодов создана библиотека GenerateQR. Генерация происходит по байтовой кодировке: текст кодируется на основе представления всех символов в виде внутренней кодировки (UTF-8). На страницу для генерации добавлен формат Raw Image, в который будет помещаться сгенерированный QR-код. Также добавлено поле для ввода текста InputField и кнопка, чтобы отправлять введенный текст на обработку.

Главная ступень разработки – создание скрипта, по которому эти элементы будут функционировать. В скрипт импортирована библиотека GenerateQR, а также модули: UnityEngine – для возможности связывать нажатие кнопки с определенным действием и TMPro – для получения кода.

Слова кодировались по принципу терминологии: 3D-модель шара – «Шар», сечения первого типа – «Сечение 1» и др. Страницы взяты из учебника в формате PDF. С помощью редактора Adobe Photoshop элементы страниц были сдвинуты для создания свободного пространства, а между ними добавлены QR-коды.

Разработка полноценной дополненной реальности предполагает 3D-модели, которые будут генерироваться при наведении на QR-код. В результате чего осуществляется построение геометрической проекции трёхмерной модели сцены на плоскость, создавая восприятие модели как объекта реального мира.

Получение 3D-модели включает в себя определенные этапы. Моделирование: создание трехмерной модели, включая создание и настройку объектов, их форм, размеров и относительного расположения. Текстурирование: назначение поверхностям моделей растровых или процедурных текстур, что позволяет придать объектам трехмерности и детализации, включая цвет, текстуру и другие характеристики. Анимация: добавление движения и изменения в объекты. Динамическая симуляция: включение физической симуляции для объектов в сцене. Рендеринг или визуализация: процесс преобразования трехмерной сцены в двухмерное изображение на плоскости. 3D-модели разработаны с помощью программного обеспечения Autodesk 3DS Max. В среде Unity создана сцена с добавленным на неё объектом ARCamera.

Реализация работы дополненной реальности в Unity требует использования ресурсов библиотеки Vuforia [4]. Был создан лицензионный ключ для проекта в Vuforia's License Manager и вставлен в сборку

ARCamera. При работе с Vuforia возникла необходимость создания базы для ранее реализованных QR-кодов, которые будут распознаваться камерой. Созданная база QR-кодов была импортирована в проект Unity. Для каждой модели создан AR-объект (Image Target), и к нему прикреплен определённый маркер и 3D-модель. На основе ранее реализуемых страниц и 3D-моделей разработано готовое рабочее приложение. Для удобного использования приложения необходимой частью является главное меню. На нём расположены 2 кнопки: «Сканер», переносающий пользователя на страницу, реализующую дополненную реальность, и «Генератор QR» перенаправляющий пользователя на страницу, где можно сгенерировать QR-код. На каждую страницу добавлена кнопка «Назад». Первоначально приложение просит разрешение на использование камеры.

При наведении камеры на QR программа показывает соответствующую 3D-модель. QR-код представляет собой графическую метку. Позиционирование модели осуществляется на основе считывания и распознавания данной метки и получения данных от датчика гироскопа. Для изучения фигуры с различных ракурсов пользователь может изменять положение камеры. Есть возможность рассмотреть не только внешний вид фигуры, а также срезы и сечения, что помогает формированию пространственного мышления пользователя.

При срабатывании QR-кода также возможно передавать информацию в виде двумерной графики, GIF-файлов, анимации или видео. Однако стоит отметить, что данная технология работает на устройствах версии Android 5.1 «Lollipop» (уровень API 22) и выше.

После проведения апробации проекта и сравнительного анализа результатов стало очевидно, что учебные материалы с технологией дополненной реальности превосходят свои бумажные аналоги. Кроме того, такие материалы обладают сочетанием доступности и практико-ориентированности, обеспечивая наглядность и системность при введении и закреплении материала. Пользователи отмечают, что визуализация математических концепций повышает их мотивацию и интерес к изучению науки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельева, К.В. Дополненная реальность: культурный и образовательный феномен / К.В. Савельева // Контекст и рефлексия: философия о мире и человеке. – 2018. – Том 7. – № 1А. – С. 227–233.
2. Батфилд-Эддисон, П. Unity для разработчика. Мобильные мультиплатформенные игры. / П. Батфилд-Эддисон, Д. Мэннинг – СПб. : Питер. – 2018. – 304 с. – (Серия «Бестселлеры O'Reilly»).

3. Александров, А.Д. Стереометрия. Геометрия в пространстве: Учеб. пособие для уч. ст. кл. и абитуриентов / А.Д. Александров, А.Л. Вернер, В.И. Рыжик – Висагинас : Alfa, 1998. – 576 с.

4. MacKinnon, B. How to Make an AR Game Using Vuforia [Электронный ресурс] / Ben MacKinnon // Kodeco.com. – 2019. – Режим доступа: <https://www.kodeco.com/6120-how-to-make-an-ar-game-using-vuforia>. – Дата доступа: 09.01.2024.

УДК 004.424

А.Н. Маслобоев, ст. преп.

(Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург, Россия)

ИЗ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРОССПЛАТФОРМЕННОЙ БИБЛИОТЕКИ TKINTER ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВИЗУАЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ АНИМАЦИИ

В настоящее время одним из перспективных направлений развития информационных технологий является создание на языках высокого уровня приложений, которые наглядно демонстрируют определенные процессы или явления как природного, так и технического характера. Поэтому визуальная компонента таких приложений становится важнейшей и неотъемлемой их частью. При этом программные продукты, созданные с помощью современных сред программирования, позволяют не просто статически отображать эти процессы, а показывают их в развитии, в динамике.

Существуют различные языки и среды программирования, которые могут выполнить задачу по разработке подобного рода приложений, но наиболее оптимальным представляется использование свободно распространяемого программного обеспечения [1]. В этом ряду особое место занимает высокоуровневый универсальный интерпретируемый язык программирования Python и интегрированная среда разработки IDLE Python [2]. Аббревиатура IDLE в названии данной среды расшифровывается как Integrated Development and Learning Environment, то есть интегрированная среда разработки и обучения.

Язык Python сочетает в себе сравнительную легкость и простоту освоения (благодаря близости к естественному человеческому языку, то есть тому языку, на котором люди общаются между собой) с наличием обширных возможностей для создания серьезных профессиональных приложений, которые могут найти свое применение в самых различных сферах человеческой деятельности [3]. К областям приме-

нения данного языка относится анализ данных, web-программирование, машинное обучение и ряд других.

Широкий спектр возможностей языка Python включает также и наличие средств по разработке приложений с графическим пользовательским интерфейсом и элементами анимации. Для языка Python характерна модульная структура, то есть в зависимости от поставленной задачи к основному ядру языка можно подключать дополнительные модули. Часть этих модулей успешно используется и для разработки различных элементов компьютерной графики, при этом в данной статье основной акцент сделан на применении для этой цели кроссплатформенной событийно-ориентированной библиотеки tkinter, входящей в стандартную поставку языка Python [4].

Пакет tkinter, который является так же, как и сам язык Python свободно распространяемым программным обеспечением, базируется на кроссплатформенной библиотеке базовых графических элементов Tk, распространяемой с открытыми исходными текстами. Конструирование GUI (графического пользовательского интерфейса) осуществляется с помощью набора элементов интерфейса, которые в терминологии, используемой в tkinter, называются виджетами. К числу виджетов относятся экранные кнопки, надписи, однострочные и многострочные текстовые поля, флажки, переключатели (радиокнопки), списки различных видов, элементы меню, полосы прокрутки, фреймы для оформления групп виджетов и другие.

Каждый виджет обладает набором свойств (параметров), которые позволяют определить его внешний вид и настроить поведение. Особое место среди этих элементов занимает виджет Canvas, представляющий собой своего рода полотно, на котором могут размещаться различные геометрические фигуры, изображения и другие виджеты, представляющие собой различные элементы управления. Затем программисту остается написать программный код, описывающий реакцию имеющихся в приложении виджетов на различные программные события (например, щелчок левой или правой клавишей мыши, нажатие определенной клавиши, получение сигнала от таймера и так далее).

Таким образом, кроссплатформенный пакет tkinter поддерживает передовую современную технологию объектно-ориентированного программирования.

Автором данной статьи было разработано приложение `spacetravel`, которое наглядно показывает основные возможности пакета tkinter. В этом приложении создана анимационная модель перелета космического корабля, созданного на нашей планете, с Земли на

Марс и ответного визита гипотетических представителей инопланетной цивилизации в обратном направлении.

Интерфейс приложения, созданный на основе виджета Canvas, включает надпись, поясняющую содержание приложения, схематические изображения планет Земли и Марса, космического корабля, построенного человеческой цивилизацией, и «летающей тарелки», созданной гипотетической цивилизацией обитателей Марса. Для управления движением объектов на Canvas помещены три виджета типа Button (экранные кнопки). С каждой из этих экранных кнопок в приложении связана одна из имеющихся в программе функций.

Программный код приложения, написанный на языке Python включает команды для импортирования библиотеки tkinter и модуля time (последний предназначен для работы со временем, как системным, так и представленном в формате, удобном для восприятия человеком), основной программный модуль и три дополнительные функции earth, mars и reset. Функция earth выполняет перемещение космического корабля землян «Гея», функция mars – корабля марсиан «Барсум», а функция reset – возвращение приложения в начальное состояние. Эффект анимации обеспечивается методом перерисовки изображения с малыми временными интервалами (в данной программе такой интервал равен 0,05с).

На рис. 1 приведен экран программы в рабочем режиме, продемонстрирован полет в направлении Земля-Марс. На рис.2 можно увидеть, как происходит ответный визит представителей внеземной цивилизации с Марса на нашу планету.

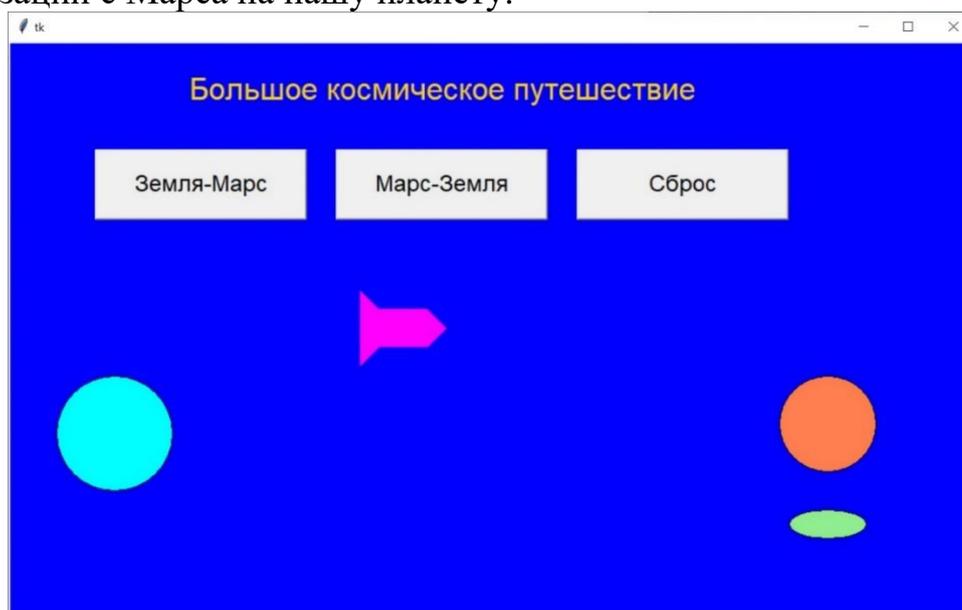


Рисунок 1 – Программа space_travel. Полет космического корабля с Земли на Марс

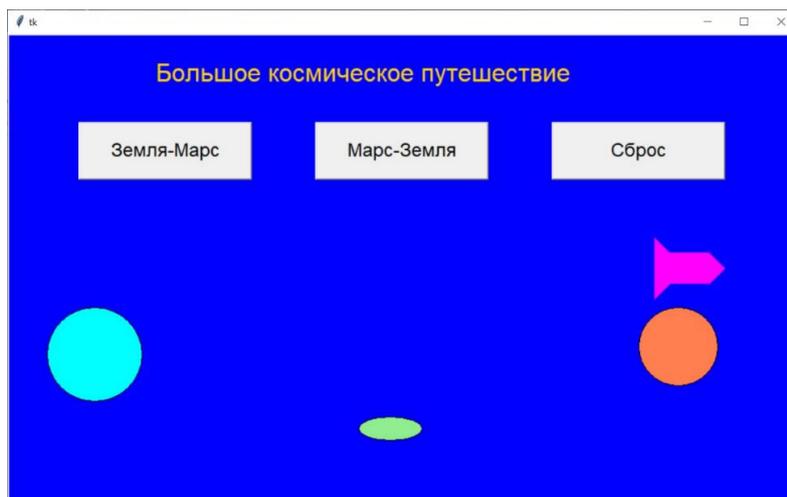


Рисунок 2 – Программа `space_travel`. Полет космического корабля с Марса на Землю

Опыт разработки данной программы показывает, что кроссплатформенная библиотека `tkinter` может быть с успехом применена для разработки сравнительно несложных программных продуктов с визуальными компонентами и элементами анимации, причем для этого не требуется усилия целого коллектива программистов, а достаточно работы одного специалиста, знакомого с основными структурами языка Python и принципами использования кроссплатформенной библиотеки, название которой указано в заголовке данной статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслобоев, А.Н. Разработка приложения с анимацией как составная часть обучения современным информационным технологиям // Актуальные проблемы радио- и кинотехнологий: материалы II Междунар. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 24–27 октября 2017 г. – Санкт-Петербург, 2018. – С. 61–69.
2. Официальный сайт языка программирования Python. – Режим доступа: <https://www.python.org> – Дата доступа: 08.01.2024.
3. Маслобоев, А.Н. Языки и методы программирования. Основы программирования на языке Python: учеб. пособие. – Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД, 2024. – 62с.
4. Маслобоев, А.Н. Создание приложений с элементами анимации средствами свободно распространяемого программного обеспечения // Актуальные проблемы радио- и кинотехнологий: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 130-летию со дня рождения изобретателя первого в мире видеомэгнитофона А.М. Понятова, Санкт-Петербург, 15–16 ноября 2022 г. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 94–98.

УДК 535-45, 621.37

А.В. Ляхнович (Институт физики НАН Беларуси, г. Минск);

В.И. Кодина (БГУ, г. Минск);

А.Л. Самофалов (ГГУ им. Франциска Скорины);

И.В. Семченко (ГНПО «Оптика, оптоэлектроника
и лазерная техника» НАН Беларуси, г. Минск);

Г.В. Синицын (Институт физики НАН Беларуси, г. Минск);

М.А. Подалов; С.А. Хахомов (ГГУ им. Франциска Скорины);

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ОМЕГА-ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЛЯРИЗОВАННОМ ТГц ИЗЛУЧЕНИИ ПРИ НАКЛОННОМ ПАДЕНИИ

Как развитие систем скоростной связи нового поколения, называемого 6G, так и потребность в бесконтактных средствах диагностики на основе анализа спектров и изображений, вызывают интерес к прикладным аспектам использования излучения терагерцового (ТГц) частотного диапазона. Соответственно интенсифицируется разработка методов и устройств управления параметрами ТГц излучения. В качестве основы для таких устройств активно исследуются искусственные среды, обладающие отрицательными значениями диэлектрической и магнитной проницаемостей ($\epsilon < 0$ и $\mu < 0$) [1]. Возможными применениями таких метаматериалов являются полосовые фильтры и преобразователи поляризации электромагнитной волны [2].

Эти устройства могут иметь элементы различной формы, например, спирали с разным числом витков, разомкнутые кольца, а также омега-подобные элементы.

Ранее [3] авторами было выполнено моделирование одиночного омега-элемента, имеющего оптимальную форму, которая обеспечивает сбалансированность диэлектрических и магнитных свойств метаповерхности, образованной такими резонаторами, в поле терагерцовой волны. В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования такого метаматериала.

Исследуемый метаматериал образован алюминиевыми элементами в форме греческой литеры Ω , которые размещены с шагом 60 мкм на подложке из кремния. Параметры элемента и микроснимок материала представлены на рис. 1. Видно, что компонентами омега-элемента являются разрезной кольцевой резонатор (split ring resonator,) и линейный диполь, связанные электрически в единую систему. Исследовались изменения спектрального состава, отраженного от метаматериала ТГц излучения в зависимости от ориентации оси

симметрии омега-элемента относительно проекции электрического вектора поляризованного излучения на плоскость метаматериала.

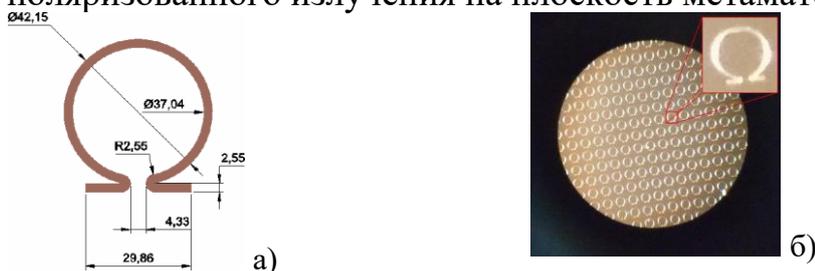


Рисунок 1 – Параметры омега-элемента для ТГц-диапазона (размеры указаны в микрометрах) (а), фотография метаматериала под микроскопом, вид отдельного элемента (б)

Отсчёт угла поворота φ оси симметрии омега-элемента производится относительно вектора напряжённости электрического поля падающей волны. А именно, нулевому значению угла φ соответствует расположение оси симметрии в плоскости колебаний электрического вектора ТГц излучения, падающего на образец. Числовые значения в обозначениях зависимостей на рисунках ниже соответствуют углам поворота φ в градусах. Измерения проводились на импульсном спектрометре временной области (time-domain, TDS), разработанном в Институте физики НАН Беларуси на основе фотопроводящих антенн в качестве источников и приемников ТГц излучения. Спектрометр выполнен по традиционной схеме, его описание приведено в [4].

Важной особенностью фотоантенн является чувствительность к поляризации, что, с одной стороны, задает поляризацию терагерцового поля, а с другой – придает детектору функции анализатора.

В качестве опорного сигнала использовалось отражение от алюминиевой пластины. Семейства характерных спектров отражения изображены на рис. 2.

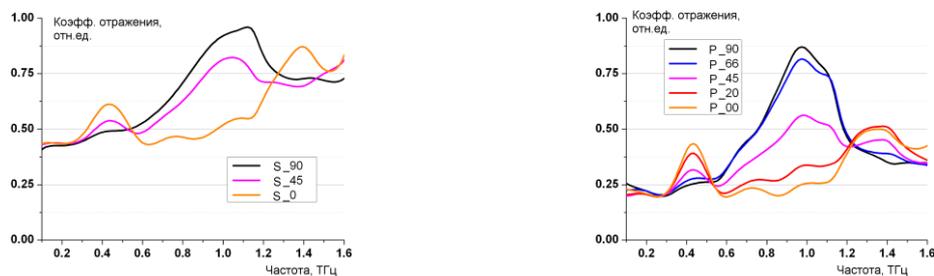


Рисунок 2 – Спектры отражения метаматериала, образованного омега-элементами на подложке из кремния, для s- (слева) и p- поляризации (справа) падающей волны

Результаты можно интерпретировать в рамках теории дипольного излучения электромагнитных волн [5], поскольку каждый омега-элемент имеет размеры, значительно меньшие, чем длина волны ТГц

излучения. В дипольном приближении напряжённость электрического поля волны, излучаемой омега-элементом, имеет вид

$$\vec{E}(\vec{R}, t) = \frac{\mu_0}{4\pi R} \left(\left[\left[\ddot{\vec{p}}, \vec{n} \right] \vec{n} \right] + \frac{1}{c} \left[\vec{n}, \ddot{\vec{m}} \right] \right), \quad (1)$$

где \vec{R} – радиус-вектор от центра омега-элемента в точку наблюдения; μ_0 – магнитная постоянная; \vec{n} – единичный вектор волновой нормали; c – скорость света в вакууме; \vec{p} и \vec{m} – соответственно дипольный и магнитный моменты омега-элемента. Для оптимизированных по размерам элементов характерно одновременное возбуждение электрического дипольного момента и не менее значимого магнитного момента, абсолютные величины которых с некоторой точностью удовлетворяют соотношению

$$p = \frac{m}{c}. \quad (2).$$

Тогда омега-элемент можно рассматривать как бианизотропную частицу, проявляющую одновременно электрические и магнитные свойства. Наиболее эффективно омега-элемент возбуждается, когда его «плечи» лежат в плоскости колебаний вектора напряжённости электрического поля падающей волны, то есть в случае $\varphi = 90^\circ$. При этом одновременно индуцируются электрический дипольный момент и магнитный момент. Из рис.2 следует, что коэффициенты отражения волны принимают максимальные значения именно в случаях s_{90} и p_{90} . Определим компоненту E_l электрического вектора падающей волны, параллельную «плечам» омега-элемента, как $E_l = E_s \sin \varphi$, $E_l = E_p \cos \alpha \sin \varphi$, где α – угол падения волны на поверхность метаматериала. С уменьшением угла φ происходит уменьшение компоненты E_l , что в свою очередь вызывает снижение коэффициента отражения и соответствует приведенному на рис.2 поведению. Обозначения E_s и E_p для s- и p- компонент вектора электрического поля волны используются как общепринятые.

Резонансный характер спектров можно объяснить связью с геометрическими параметрами омега-элемента. Так, для случая, когда полная длина L_1 омега-элемента равна половине длины волны ТГц поля, резонансная частота удовлетворяет соотношению

$$\nu_1 = \frac{c}{2L_1} = \frac{c}{2(2l + 2\pi r)}, \quad (3),$$

где l – длина плеча омега-элемента, r – радиус витка омега-элемента. Для оптимизированных размеров, приведенных на рис.1, $\nu_1 = 1.0$ ТГц. Если же угол φ принимает значения $< 20^\circ$, то омега-элементы возбуждаются преимущественно магнитным полем падающей волны. При

этом электрический ток возникает в основном в витке омега-элемента, без участия его плеч, что описывается формулой

$$\nu_2 = \frac{c}{2L_2} = \frac{c}{4\pi r} \quad (4)$$

и приводит к значению резонансной частоты $\nu_2=1,2$ ТГц. Таким образом, частотная зависимость коэффициентов отражения, представленная на рис.2, в том числе наличие двух главных максимумов, согласуется с результатами теоретического анализа.

Следует отметить важное различие между отражёнными волнами при s- и p- поляризации падающей волны. Как следует из формулы (1), при падении на метаматериал s-поляризованной волны отражённое излучение также поляризовано линейно и имеет только s-компоненту. В случае p-поляризации падающей волны отражённое излучение имеет эллиптическую поляризацию.

В результате исследования показано, что метаматериал на основе массива омега-элементов с оптимальной формой проявляет поляризационно-селективные свойства и может выполнять функции эффективного преобразователя поляризации электромагнитной волны в терагерцовом диапазоне. Это свойство совместно с сильной поляризационной анизотропией может быть использовано для управления параметрами ТГц излучение, в том числе относительно широкополосного, в системах беспроводных коммуникаций.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций», задание 2.3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tao Xu, Yu-Sheng Lin. Tunable Terahertz Metamaterial Using an Electric Split-Ring Resonator with Polarization-Sensitive Characteristic // Appl. Sci. – 2020 – V.10 – P.4660–4668.
2. Zhengze Cheng, Yongzhi Cheng. A multi-functional polarization convertor based on chiral metamaterial for terahertz waves // Opt. Comm. – 2019. – V.435 – P.178–182.
3. Igor Semchenko et al. Omega-Structured Substrate-Supported Metamaterial for the Transformation of Wave Polarization in THz Frequency Range // Recent Advances in Technology Research and Education / Ed. by Dumitru Luca, Lucel Sirghi, Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 660, Springer. – 2017. – P. 73–80.
4. М.А. Ходасевич, А.В. Ляхнович, Н. Eriklioglu. Классификация шоколада на основе анализа методом главных компонент предобработанных спектров пропускания терагерцового диапазона // Журнал Прикладной Спектроскопии – 2022. – Т. 89, № 2, С. 198–203.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. // Издание 7-е, исправленное / М.: Наука, 1988. – 512 с.

В.И. Кодина (Институт физики НАН Беларуси, БГУ, г. Минск)
А.В. Ляхнович, ст. науч. сотр.; Д.А. Королько, мл. науч. сотр.
(Институт физики НАН Беларуси, г. Минск)

ТЕРАГЕРЦОВАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ТОЧНОСТИ КАЛИБРОВКИ СОДЕРЖАНИЯ КАКАО В ЕСТЕСТВЕННО СОСТАРЕННЫХ ОБРАЗЦАХ ШОКОЛАДА ИНТЕРВАЛЬНЫМ МЕТОДОМ ПРОЕКЦИИ НА ЛАТЕНТНЫЕ СТРУКТУРЫ

Введение. В настоящее время достаточно большое внимание уделяется разработке методов диагностики качества и аутентичности пищевых продуктов. Распространённым подходом является применение для диагностики метода терагерцовой спектроскопии во временной области (time domain spectroscopy, TDS) в совокупности с различными многопараметрическими методами [1–4]. Так, в работе [5] производилась классификация шоколада по концентрациям путём измерения ТГц спектров образцов и применения к ним метода главных компонент и методов кластерного анализа. Такой подход оказался результативным и, кроме того, позволил проводить классификацию без разрушающего воздействия на образцы.

Целью данной работы является построение модели для классификации состаренных образцов шоколада по процентному содержанию какао с применением объединения методов проекции на латентные структуры (PLS) и метода поиска комбинации движущихся окон (scmwiPLS) по терагерцовым спектрам. Также оценивалась точность калибровочных моделей для дифференциации состаренных образцов, в том числе в сравнении с моделями, которые были построены для свежеприготовленных образцов.

Описание образцов и оборудования. Образцы шоколада состарены в течение года в комнатных условиях без соблюдения рекомендаций по хранению продукции. Для исследования было выбрано по три образца для каждой из пяти концентраций какао массы (46%, 58%, 70%, 85%, 94%). Толщина образцов – 3 мм, диаметр – 32 мм. Импульсные временные формы регистрировались при помощи лазерно-оптического комплекса «Тераспектрометр» [5], который обеспечивает спектральный диапазон 0,2–2,5 ТГц, спектральное разрешение до 5 ТГц. Измерения производились в 3–4 точках каждого образца, всего по 10 измерений для каждой концентрации. Модели многопараметри-

ческого анализа строились для массива данных из 50 относительных спектров пропускания образцов.

Результаты исследования и их обсуждение. Спектры излучения получены из временных форм с помощью преобразования Фурье. Относительные спектры пропускания образцов определены путём деления спектров излучения, прошедшего через образец на спектр опорного сигнала. Характерный вид регистрируемых сигналов и спектральных зависимостей представлен на рис. 1.

Для построения калибровочной модели (рис. 2) применен метод PLS. Это один из многопараметрических методов обработки данных, который заключается в поиске максимальной корреляции между разложением матрицы спектров образцов и вектора концентраций путём уменьшения размерности с использованием латентных структур.

Для метода проекции на латентные структуры в качестве предикторов выбираются полученные спектры, а в качестве откликов – соответствующие концентрации. Данный метод требует разделения всего массива спектров на обучающий и проверочный набор данных в процентном соотношении 60% данных для обучающей и 40% – для проверочной. В этом соотношении случайным образом делилась каждая группа из 10 спектров для каждой концентрации. Для данной работы оптимальное количество латентных переменных – 5.

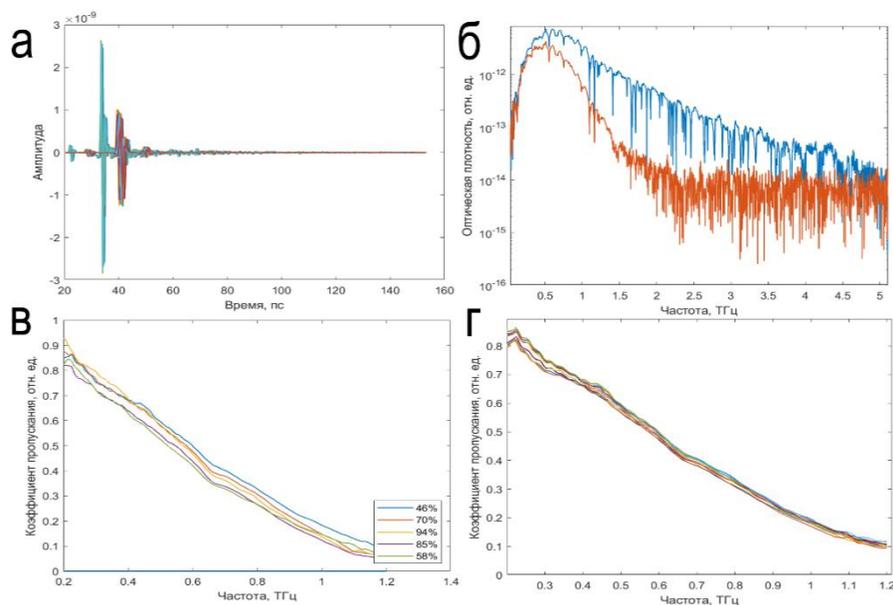


Рисунок 1 – Характерный вид регистрируемых сигналов и спектральных зависимостей: а – форма сигналов, прошедших через образцы и опорных сигналов во временной области; б – спектр опорного сигнала (выше) и спектр образца (ниже) с концентрацией какао 46%; в – спектры пропускания образцов шоколада для различных концентрации какао; г – спектры пропускания для 10 измерений образца с концентрацией какао 46%

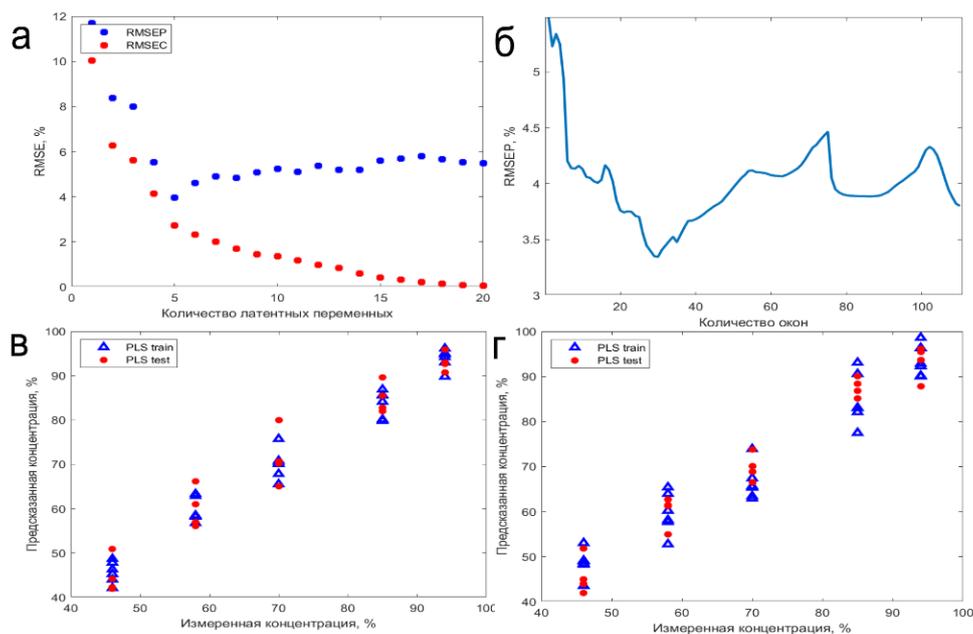


Рисунок 2 –Регрессионная модель: а – модель регрессии, построенная для обучающей и проверочной выборки спектральных данных; б – зависимость среднеквадратичного отклонения калибровки содержания какао в шоколаде от количества окон в методе поиска комбинации сдвигающихся окон; в – калибровочная модель PLS; г – калибровочная модель scwiPLS

Точность модели достаточно высока (среднеквадратичное отклонение поверочной выборки RMSEP – 3,8 %.), что иллюстрируется на рис. 2 в. Модель удовлетворительно отражает линейную калибровочную зависимость. В то же время есть возможность улучшить калибровочную модель путём применения метода поиска комбинации движущихся окон.

Данный метод предпочтителен по сравнению с другими методами выбора спектральных переменных по точности и затрачиваемому машинному времени. Ширина окна выбирается на единицу больше, чем количество латентных переменных, которое использовалось для построения модели методом PLS. В данном случае ширина окна – 6 спектральных переменных. Сдвигая окно на одну спектральную переменную и применяя к каждому интервалу метод PLS ищется окно, в котором RMSEP наименьшее. Данное окно фиксируется и процесс повторяется, комбинируя новое окно с предыдущими, до заполнения всего спектра.

На рис. 2 б видно, что количество окон в модели с наименьшим среднеквадратичным отклонением равно 30. Результатом применения PLS для найденной комбинации окон стало снижение значения RMSEP с 3,8% для широкополосной модели до 3,34%.

Заключение. Продемонстрирована возможность применения калибровочных моделей, аналогичных построенным ранее для свежеприготовленной какао содержащей продукции, к состаренным образцам. Использовалась комбинация метода проекции на латентные структуры и метода поиска комбинации сдвигающихся окон для классификации состаренных образцов по процентному содержанию какао на основе анализа ТГц спектров пропускания.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций», задание 1.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Terahertz Non-Contact Monitoring of Cocoa Butter in Chocolate // World Journal of Engineering and Technology. – 2018. – V.6. – P. 268-274.

2. Dinovitser A, Valchev DG and Abbott D. Terahertz time-domain spectroscopy of edible oils // The Royal Society Open Science. –2012. – V. 4. – P. 1–9.

3. Hong S [et al]. Terahertz Time-Domain Spectroscopy of Crushed Wheat Grain // IEEE. – 2005. – P. 2103–2106.

4. Jinlei H [et al]. Fusion of THz-TDS and NIRS Based Detection of Moisture Content for Cattle Feed // Frontiers in Physics. – 2022. – V. 10. – P. 1–13.

5. М.А. Ходасевич, А.В. Ляхнович, Н. Eriklioglu. Классификация шоколада на основе анализа методом главных компонент предобработанных спектров пропускания терагерцового диапазона // Журнал прикладной спектроскопии. – 2022. – № 2. – С. 198–203.

УДК 543.42.061, 543.421/.424

П.А. Куликовская

(Институт физики НАН Беларуси, БГУ, г. Минск);

М.А. Ходасевич, д-р физ-мат. наук

(Институт физики НАН Беларуси, г. Минск)

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ ПО СПЕКТРАМ БЛИЖНЕГО ИК ДИАПАЗОНА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА И ВЫБОРА СПЕКТРАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Введение и методы. Проблема вторичной переработки пластиков является критической для экологии всех развитых регионов мира. На предварительном этапе переработки для получения качественной продукции необходимо проведение классификации отходов из поли-

меров, которая может основываться на различиях их температуры плавления, плотности и взаимодействия с химическими растворителями и других параметров. Такие виды классификации требуют проведения долговременных, дорогостоящих и не всегда поддающихся автоматизации процедур. Из оптических методов классификации отходов из полимеров можно выделить ИК спектроскопию, являющуюся точной, экологически чистой и неразрушающей технологией, не использующей предварительную обработку поверхности отходов. В данной работе для повышения качества классификации полимеров используются методы анализа многопараметрических данных ИК спектроскопии.

Классификация была проведена для 80 различных по толщине прозрачных и окрашенных образцов пяти видов пластика (1 – полиэтилентерефталат, 2 – полиэтилен высокой плотности, 4 – полиэтилен низкой плотности, 5 – полипропилен, 6 – полистирол). Для обработки полученных спектров оптической плотности в диапазоне от 1500 до 3100 нм с интервалом 2 нм и шириной щели 1 нм использовались метод главных компонент PCA (principal component analysis) [1] и метод построения дерева классификации и регрессии (CART – Classification and Regression Tree) [2].

При этом исследования [3–4] показывают, что оптимальные результаты получаются, когда в широкополосных спектрах не учитывается часть, приводящая к переопределенности многопараметрических моделей вследствие мультиколлинеарности спектров. Для этого в работе использовались метод поиска комбинации сдвигающихся окон SCMW (searching combination moving window) [5] и метод ранжирования спектральных переменных в измеренных спектрах [6].

Результаты и обсуждение. Кроме обязательного для PCA центрирования в качестве дополнительного метода предобработки данных использовались следующие методы обработки спектра: евклидова норма, масштабирование по стандартному отклонению, масштабирование по наибольшему значению, масштабирование по первому элементу данных, а также предобработки методами SNV (standard normal variate) [7] и MSC (multiplicative scattering correction) [8]. Наилучшие результаты были получены при использовании евклидовой нормы для метода ранжирования спектральных переменных и MSC для метода поиска комбинации сдвигающихся окон.

При применении метода SCMW измеренный спектр делится на заранее заданное количество неперекрывающихся интервалов для построения моделей отдельно по каждому из них. При этом ширина спектрального окна должна превышать количество главных компо-

нент на 1. Это условие минимизирует ширину окна при сохранении возможности поиска главных компонент.

Положение первого окна определяется минимальной величиной ошибки классификации среди всех моделей, для построения которых используются непересекающиеся спектральные интервалы минимальной ширины. После нахождения положения первого окна в дальнейшем оно не изменяется. Второе окно последовательно сдвигается на одну спектральную переменную в пределах всего диапазона измерений, и построение классификационных моделей происходит по объединенному множеству спектральных переменных, принадлежащих как фиксированному, так и движущемуся окну.

На рис. 1–2 представлена зависимость ошибки классификации методом CART от количества спектральных окон, учитываемых в модели SCMW, с выделенной закрашенным кругом оптимальной комбинацией 48 окон по 3 спектральные переменные. Точность классификации – 93,75%.

Второй метод основан на ранжировании спектральных переменных по уменьшению среднего по всем образцам отклонения центрированных величин оптической плотности (рис. 3-4). Поэтапное добавление по одной спектральной переменной в метод главных компонент и последующее построение классификационного дерева показали, что классификация 5 рассматриваемых типов пластиков характеризуется максимальной точностью также в 93,75 %, достигаемой при использовании уже только 57 спектральных переменных, из которых строится десятимерное пространство главных компонент.

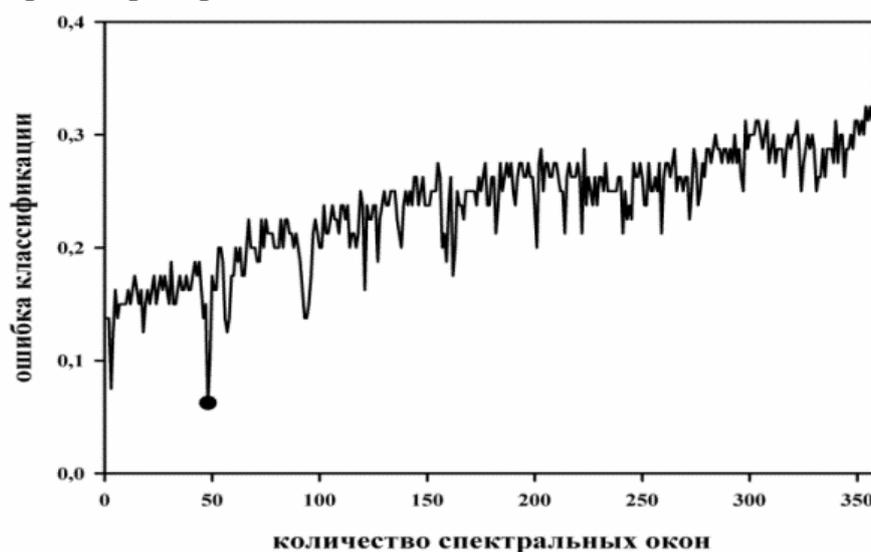


Рисунок 1 – Ошибка классификации 80 образцов 5 видов пластиков в зависимости от количества спектральных окон в методе SCMW

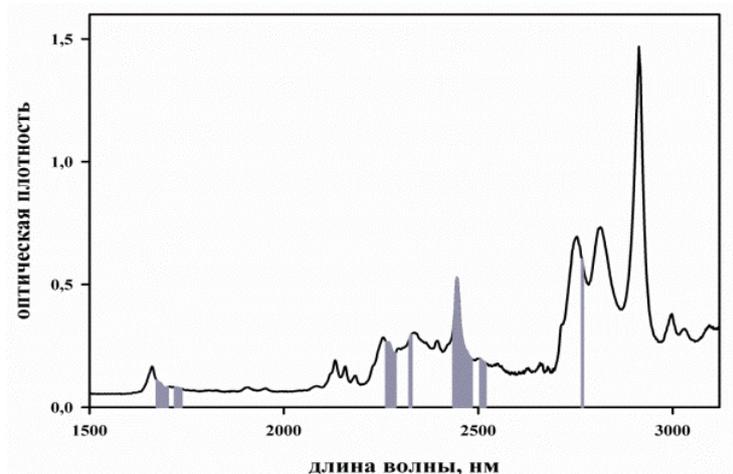


Рисунок 2 – Расположение на спектре седьмого образца 144 переменных, соответствующих выбору оптимальной комбинации сдвигающихся окон

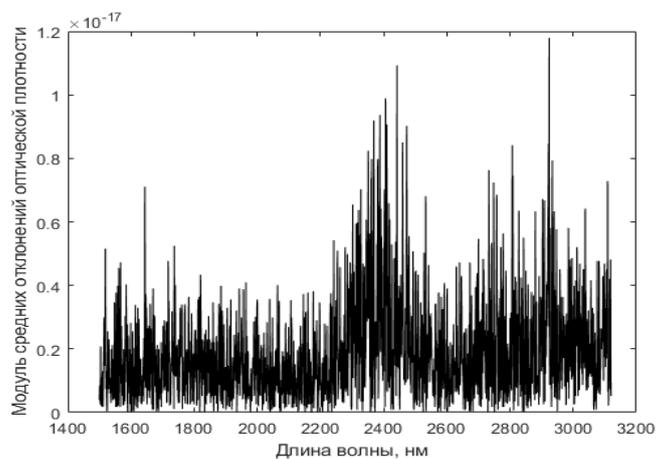


Рисунок 3 – Модуль среднего отклонения оптической плотности

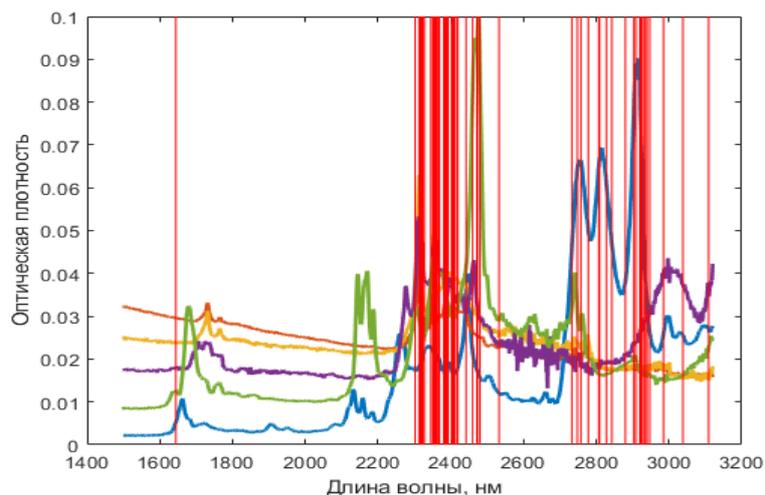


Рисунок 4 – Пример измеренных спектров пластиков пяти видов и выбранные методом ранжирования спектральных переменных длины волн

Выводы. Продемонстрирована высокая точность классификации пластмасс на основе использования многопараметрического спек-

трального анализа с выбором спектральных переменных. Для двух методов была получена точность классификации 93,75%. Достигнутые показатели говорят о возможности результативного применения данных методов на практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Esbensen K.H., Geladi P. Principal Component Analysis: Concept, Geometrical Interpretation, Mathematical Background, Algorithms, History, Practice // *Comprehensive Chemometrics* / ed.: S. Brown, R. Tauler, B. Walczak. – 2009. – P. 211–226.
2. Loh W.-Y. Fifty Years of Classification and Regression Trees // *International Statistical Re-view*. – 2014. – V. 82. – P. 329–348.
3. Vieira L.S., Assis C., de Queiroz M.E.L.R., Neves A.A., de Oliveira A.F. Building robust models for identification of adulteration in olive oil using FT-NIR, PLS-DA and variable selection // *Food Chemistry*. – 2021. – Vol. 345. – P. 128866:1–7.
4. Chen Y., Ma H., Zhang Q., Zhang S., Chen M., Wu Y. Comparison of several variable selection methods for quantitative analysis and monitoring of the Yangxinshi tablet process using near-infrared spectroscopy // *Infrared Physics & Technology*. – 2020. – Vol. 105. – P. 103188:1–7.
5. Ходасевич М.А., Саскевич Н.А. Методы построения обучающего набора для калибровки с помощью флуоресцентной спектроскопии небольших выборок // *Весці НАН Беларусі, сер. фіз.-мат. навук*. – 2018. – Vol. – P. 77–83.
6. Xiaobo Z., Jiewen Z., Povey M.J.W., Holmes M., Hanpin M. Variables selection methods in near-infrared spectroscopy // *Analytica Chimica Acta*. – 2010. – Vol. 667. – P. 14–32.
7. Ma T., Li X., Inagaki T., Yang H., Tsuchikawa S. Noncontact evaluation of soluble solids content in apples by near-infrared hyperspectral imaging // *Journal of Food Engineering*. – 2018. – Vol. 224. – P. 53–61.
8. Maleki M.R., Mouazen A.M., Ramon H., De Baerdemaeker J. Multiplicative Scatter Correction during On-line Measurement with Near Infrared Spectroscopy // *Biosystems Engineering*. – 2007. – Vol. 96. – P. 427–433.

И.Е. Колесников; Д.В. Мамонова
(Санкт-Петербургский Государственный Университет, г. С.-Петербург, Россия);
Д.А. Королько; М.А. Ходасевич
(Институт физики НАН Беларуси, г. Минск)

РАТИОМЕТРИЧЕСКАЯ И МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ТЕРМОМЕТРИЯ ПО СПЕКТРАМ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ $\text{LaVO}_4:\text{Pr}^{3+}$

Введение. Ратиометрические датчики, калибрующие величину температуры по отношению интенсивностей флуоресценции (FIR – fluorescence intensity ratio), привлекают в настоящее время наибольшее внимание среди оптических датчиков [1]. Ранее [2] нами было показано, что применение методов анализа многопараметрических данных позволяет достичь лучших показателей калибровки температуры по сравнению с методом FIR. Целью представленной работы является сравнение характеристик ратиометрической и многопараметрической термометрии по спектрам флуоресценции $\text{LaVO}_4:\text{Pr}^{3+}$.

Результаты и обсуждение. Спектры флуоресценции образцов, активированных 1% Pr, регистрировались при температурах от 293 до 473 К с шагом 3 К в диапазоне длин волн 480–730 нм с шагом 1 нм. Метод главных компонент (РСА) [3] использовался для преобразования многомерного пространства спектральных переменных в маломерное пространство ортогональных главных компонент (РС), которые представляют собой линейную комбинацию спектральных переменных и описывают дисперсию спектров в порядке убывания. В рассматриваемом случае 98,8% дисперсии спектров флуоресценции описывается первой РС. Проекция спектра на главную компоненту называется счётом, а коэффициенты преобразования переменных – нагрузками. В спектре нагрузок в первую РС имеются четыре локальных экстремума на длинах волн 489, 597, 612 и 648 нм. При рассмотрении FIR была добавлена длина волны 606 нм, соответствующая пику интенсивной красной полосы флуоресценции Pr.

По величине значений FIR пары длин волн 606/597 нм и 612/597 нм существенно превосходят остальные рассмотренные. Для метода РСА была определена температурная зависимость счетов в первую РС, представленная на рис. 1 а. На рисунке 1 б отображена относительная чувствительность калибровки $S_r = |d\Lambda/dT|/\Lambda$, где Λ – параметр, зависящий от температуры для ратиометрического метода и РСА.

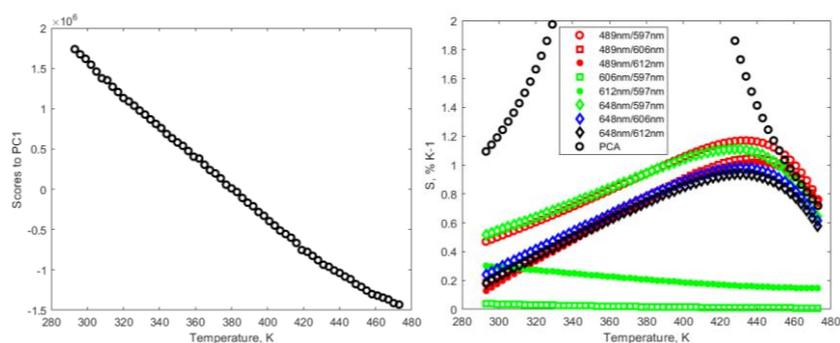


Рисунок 1 – Температурная зависимость счетов в первую главную компоненту спектров флуоресценции $\text{LaVO}_4:\text{Pr}$ (1 мол.%) (а) и чувствительность калибровки температуры (б)

Счета в первую РС пересекают нулевую линию вблизи середины исследуемого температурного диапазона, и относительная чувствительность стремится к бесконечности. Корректное сравнение S_r может быть произведено на границах температурного диапазона. При $T = 293$ К относительная чувствительность калибровки температуры методом PCA составляет $1,1\% K^{-1}$ и превышает чувствительность FIR на длинах волн 648 и 597 нм приблизительно в 2 раза.

В дополнение к PCA для калибровки температуры может быть использован другой метод анализа многопараметрических данных – метод частичных наименьших квадратов (PLS) [4]. PLS выбирает маломерное пространство латентных переменных, представляющих собой линейные комбинации спектральных переменных и значений температуры, максимизируя корреляцию между спектральными и температурными проекциями. Для повышения точности метода PLS был применен метод поиска комбинации движущихся спектральных окон (scmwiPLS) [5], количество переменных в которых на единицу превышает количество латентных переменных в широкополосном PLS. На рис. 2 представлено результаты калибровки обоими многопараметрическими методами.

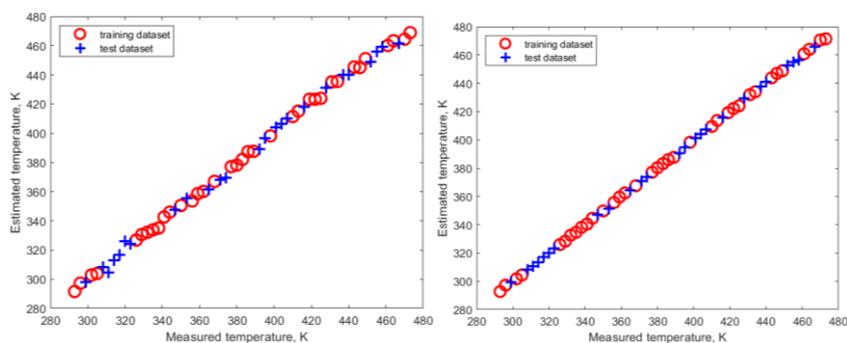


Рисунок 2 – Зависимость оценки температуры от измеренного значения для калибровки методами PCA (а) и scmwiPLS (б) по спектрам флуоресценции $\text{LaVO}_4:\text{Pr}$ (1 мол. %)

Для характеристики многопараметрических калибровочных моделей используются среднеквадратичное отклонение (RMSE) и остаточное отклонение (RPD) в проверочной выборке данных. RPD – это отношение стандартного отклонения температуры в выборке к RMSE. Пороговое значение RPD, при котором калибровка считается количественной, равно 3 [6]. Для образца, активированного 1% Pr, RMSE = 3.0 К и RPD = 18.0 для PCA и RMSE = 0.77 К и RPD = 70.8 для метода scmwPLS, который учитывает 108 спектральных переменных из 246 измеренных. Для образца, активированного 0,1% Pr, RMSE также равно 0.77 К при учете 133 спектральных переменных.

Первая латентная переменная в scmwPLS объясняет более 99% дисперсии спектров флуоресценции для обоих исследованных образцов. Поэтому для оценки S_r используем только зависимость оценок только по одной латентной переменной. Рассчитанные значения S_r для линейной аппроксимации оценок показаны на рис. 3. Как и в случае PCA, относительная чувствительность в середине рассматриваемого температурного диапазона стремится к бесконечности. Полученные значения превышают достигнутую на сегодняшний день величину $0,81\%K^{-1}$ относительной чувствительности калибровки температуры по флуоресценции Pr в $SrWO_4$ [1].

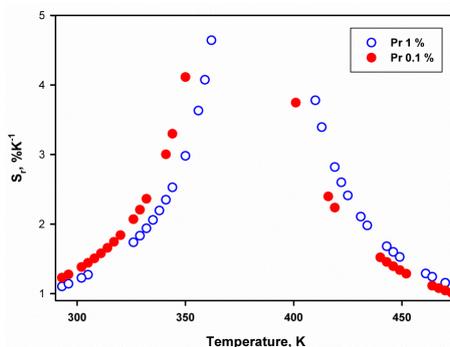


Рисунок 3 – Относительная чувствительность калибровки температуры методом scmwPLS

Выводы. Использование методов анализа многопараметрических данных позволяет улучшить качество ратиометрической калибровки температуры путем выбора длин волн флуоресценции по спектру нагрузок в первую главную компоненту или получить более высокие значения относительной чувствительности с помощью использования регрессии счетов в первую главную компоненту. Метод частичных наименьших квадратов с поиском комбинации движущихся окон в спектрах флуоресценции превосходит характеристики калибровки температуры как ратиометрическим способом, так и методом главных компонент.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zheng J., Shen H., Li Y., Li H., Yue Z. Structural and luminescent performance and optical thermometry of Pr³⁺ doped SrWO₄ down-conversion phosphors // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2023.– V. 968. – P. 172112.
2. Kolesnikov I.E., Mamonova D.V., Kurochkin M.A., Khodasevich M.A., Medvedev V.A., Kolesnikov E.Yu., Manshina A.A. Single vs. multiparametric luminescence thermometry: the case of Eu³⁺-doped Ba₃(VO₄)₂ nanophosphors // *Journal of Materials Chemistry C*. – 2023. – V. 11. – P. 14814–14825.
3. Bro R., Smilde A.K. Principal component analysis // *Analytical Methods*. – 2014. – Vol. 6. – P. 2812–2831.
4. Wold S., Sjostrom M., Eriksson L. PLS-regression: a basic tool of chemometrics // *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. – 2001. – Vol. 58. – P. 109–130.
5. Khodasevich M., Aseev V., Klinkov V., Tsimerman E., Borisevich D. Reducing Temperature Calibration Error in Multivariate Analysis of Fluorescence Spectra // *Journal of Advances in Applied Physics*. – 2020. – Vol. 2, № 1. – P. 9–14.
6. Zornoza R., Guerrero C., Mataix-Solera J., Scow K.M., Arcenegui V., Mataix-Beneyto J. Near Infrared Spectroscopy for Determination of Various Physical, Chemical and Biochemical Properties in Mediterranean Soils // *Soil Biology & Biochemistry*. – 2008. – Vol. 40. – P. 1923–1930.

УДК 535.343.32, 543.421/424

П.С. Колодочка (Физический факультет БГУ,
Институт физики НАН Беларуси, г. Минск);
М.А. Ходасевич, д-р физ-мат. наук
(Институт физики НАН Беларуси, г. Минск)

КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ С ПОМОЩЬЮ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СПЕКТРОВ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ЕГО СПИРТОВЫХ РАСТВОРОВ

Важной проблемой на сегодняшний день является определение географического происхождения продукции. Это можно проиллюстрировать на примере вина. Коммерческая ценность вина определяется не только его химическими и органолептическими характеристиками, но и квалификационной категорией защищенного географиче-

ского указания (IGP – Indication Géographique Protégée). Такая категория присваивается винам, изготовленным из винограда определенного сорта и в котором не менее 85 процентов от всего количества используемого винограда, произрастает, перерабатывается и бутилируется в границах географического объекта, указываемого в наименовании вина. Вина категории IGP обладают характерными органолептическими свойствами, которые определяются почвенно-климатическими особенностями и используемыми агротехническими и технологическими приемами. Присвоение категории IGP существенно повышает цену продукции, ассоциирующейся с определенной страной или регионом и имеющей устойчивую репутацию [1].

Проблема определения географического происхождения важна и в области фармацевтики, особенно при рассмотрении лекарственного растительного сырья, характеристики которого, как и винодельческой продукции, существенно зависят от природно-климатических условий произрастания растений. В рамках решения этой проблемы была поставлена задача определения возможности географической классификации образцов лекарственных растений из пяти соседних провинций Китая.

Предварительный этап исследований был проведен на примере определения географического происхождения ромашки аптечной в пределах двух соседних стран – Беларуси и России. Алгоритм проведения исследований соответствует алгоритму определения географического происхождения источников рафинированного сахара с помощью многопараметрического спектрального анализа [2].

В качестве метода исследований используется оптическая спектроскопия поглощения, объектами исследования являются спиртоводяные настойки лекарственного сырья. Методы анализа спектров: метод главных компонент (PCA – principal component analysis) [3] и метод построения деревьев классификации и регрессии (CART – classification and regression tree) [4].

Спектры оптической плотности 70-процентных спиртовых настоек образцов ромашки регистрировали на спектрофотометре Shimadzu UV-3101PC с шириной щели 1 нм в диапазоне длин волн 230–480 нм с шагом 0,5 нм и в диапазоне 480–2600 нм с шагом 1 нм. Использовалась ромашка аптечная двух производителей из Беларуси (38 образцов) и двух из России (35 образцов).

В данной работе метод PCA применяется для анализа информации, выявления выбросов и уменьшения размерности. Вместо исходного множества спектральных переменных набор данных может быть

описан с использованием небольшого количества главных компонент без значительной потери данных.

Перед применением PCA спектры предварительно обрабатывали с помощью центрирования. Так как все спектральные переменные имеют одинаковый характер, то в нормировке нет необходимости. После этого было проведено понижение размерности матрицы исходных данных с помощью PCA. Для дальнейшей работы ограничились использованием 10 главных компонент, которые содержат 99,92% общей дисперсии данных (рис. 1). Применение PCA позволило уменьшить пространство, в котором будет осуществляться построение дерева решений, с 2623 до 10 переменных.

На рис. 2 изображены счета в пространстве наиболее информативных первой и второй главной компоненты, которые суммарно описывают более 96% дисперсии данных.

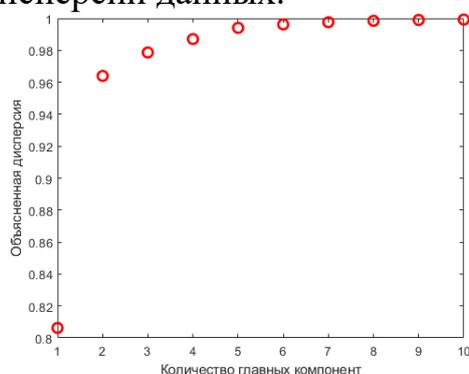


Рисунок 1 – График объясненной дисперсии для 10 главных компонент

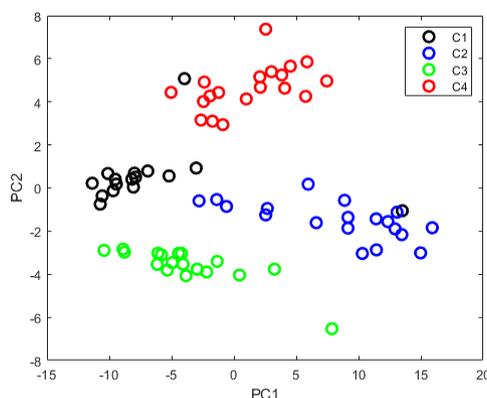


Рисунок 2 – График счетов в первую и вторую главные компоненты (ромашка аптечная из России: C1 и C4, из Беларуси: C2 и C3)

В данной работе дерево классификации строится в пространстве найденных главных компонент [5]. Используется наиболее часто встречающийся алгоритм построения CART. В пространстве главных компонент алгоритм разбивает все образцы на две группы различным образом. Далее выбирается вариант разбиения, при котором максимальное количество образцов одного класса попадают в одну группу.

Это первый узел дерева. Дальнейшее разбиение продолжается подобным образом до тех пор, пока не будет достигнуто ограничивающее условие. В данном случае алгоритм будет разделять пространство, пока точность модели не начнет ухудшаться.

Классификационное дерево было построено на основе полученных главных компонент с применением 10-кратной кросс-валидации. Точность модели составила более 93%.

На рис. 3 видно, что для построения модели использовались только 1, 2, 4 и 5 главные компоненты. Можно сделать вывод, что они несут в себе наиболее полезную для классификации методом CART информацию.

Таким образом, на рисунке 3 представлено лучшее дерево принятия решений, позволяющее достичь приемлемой для применения на практике точности классификации географического происхождения лекарственного растительного сырья.

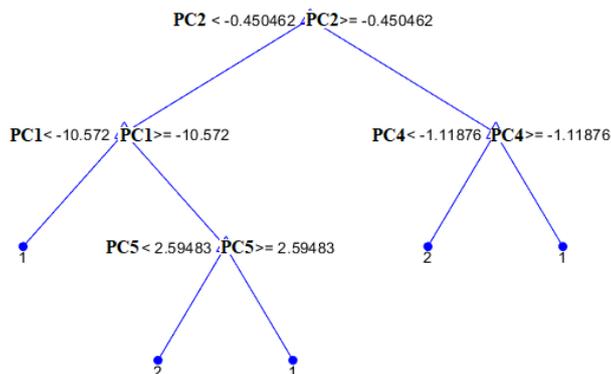


Рисунок 3 – Классификационное дерево для российской (1) и белорусской (2) ромашки

Вывод. В данной работе продемонстрированы возможности применения методов многопараметрического анализа для построения моделей классификации географического происхождения растительного лекарственного сырья по спектрам оптической плотности 70-процентных спиртовых настоек в диапазоне 230–2600 нм. Для образцов ромашки аптечной из России и Беларуси было построено дерево принятия решений с точностью более 93%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Drivelos, S.A. Multi-element and multi-isotope-ratio analysis to determine the geographical origin of foods in the European Union / S.A. Drivelos, C.A. Georgiou // Trends in Analytical Chemistry. – 2012. – Vol. 40. – P. 38–51
2. Shuocong L. Geographical origin traceability and identification of refined sugar using UPLC-QToF-MS analysis // Food Chemistry – 2021. – Vol. 348. – P. 128701.

3. Bro R., Smilde A.K. Principal component analysis // Analytical Methods. – 2014. – V. 6. – P. 2812–2831.

4. Loh W.-Y., Fifty Years of Classification and Regression Trees // International Statistical Review – 2014. – Vol. 82. – P. 329–348.

5. Kolodochka P. S., Khodasevich M.A. Classification of sugar types by UV-VID-NIR spectroscopy and multivariate analysis // THE 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHOTONICS AND APPLICATIONS. – 2022 – P. 244–247.

УДК: 535.372; 537.868.4; 681.7.031

И.А. Ходасевич, зам. зав. центром, канд. физ.-мат. наук;
А.С. Пиотух, ст.-мл. науч. сотр.; В.С. Степура, ст.-мл. науч. сотр.;

В.А. Длугунович, зав. центром, д-р физ.-мат. наук;

А.В. Исаевич, зам. зав. центром, канд. физ.-мат. наук;

М.В. Корольков, вед. науч. сотр., д-р физ.-мат. наук;

Д.С. Могилевцев, зам. зав. центром, д-р физ.-мат. наук,
член-корр. НАН Беларуси;

А.С. Грабчиков, вед. науч. сотр., д-р физ.-мат. наук
(Институт Физики НАН Беларуси, г. Минск)

КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АП-КОНВЕРСИОННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ВО ФТОРФОСФАТНОМ СТЕКЛЕ, АКТИВИРОВАННОМ ИОНАМИ ТУЛИЯ И ИТТЕРБИЯ, ВОЗБУЖДАЕМОЙ НЕПРЕРЫВНЫМ И ФЕМТОСЕКУНДНЫМ ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Ап-конверсионная (АК) люминесценция ионов редкоземельных элементов является перспективной областью исследования в оптике и лазерной физике. Для возбуждения АК процессов широко используются непрерывные лазеры, но для ряда приложений представляет интерес применения фемтосекундных лазеров. Так, фемтосекундное лазерное излучение обеспечивает большую мощность возбуждающих импульсов [1, 2], что может инициировать возникновение многофотонных процессов возбуждения [2, 3] и релаксации [4], изменяющих кинетику АК процессов. Возникновение прямого лазерного возбуждения ионов тулия за счет процессов поглощения между его возбужденными состояниями, наряду с передачей энергии от ионов иттербия, позволяет управлять временной динамикой АК процессов, как усиливая, так и подавляя эффективность АК процессов методами квантового когерентного контроля [2, 4, 5]. Отметим, что и анализ иерархии во времени АК процессов [6], вследствие как одно- и многофотонного лазерного возбуждения ионов тулия [4], так и передачи энергии

между ионами иттербия и тулия [7], становится намного сложнее при возбуждении фемтосекундным излучением [4, 8], особенно при наличии нескольких резонансных частот [9]. В нашем случае характерными могут быть частота, определяемая длиной волны фемтосекундного лазера ($\lambda \approx 1038$ нм) и частота, резонансная энергии, передаваемой возбужденным ионом иттербия иону тулию ($\lambda \approx 975$ нм).

В предыдущих исследованиях нами проводился сравнительный анализ АК процессов ионов Tm^{3+} во фторфосфатном стекле при возбуждении ионов Yb^{3+} непрерывным [1,7,10] и фемтосекундным [1] излучением. Длина волны непрерывного излучения (975 нм) попадала в полосу сильного поглощения ионов Yb^{3+} , а фемтосекундного (1038 нм) – в край полосы поглощения ионов Yb^{3+} , и, кроме того, соответствовала энергии переходов между возбужденными состояниями ионов Tm^{3+} (например, ${}^3F_4 \leftrightarrow {}^3F_{2,3}$ и ${}^3H_4 \leftrightarrow {}^1G_4$ на рис. 1 а, см. рис. 6 в работе [11]). В обоих случаях в спектрах АК люминесценции наблюдались полосы в областях 440–480 нм, 630–670 нм и 760–840 нм (рис. 1 б). Распределение их интенсивностей при фемтосекундном и непрерывном возбуждении оказалось разным. Это указывает на различную кинетику процессов заселения энергетических уровней иттербия и тулия и возможное различие иерархии этих процессов во времени.

Классический (см. [12]) анализ двойных логарифмических ($\log\text{-}\log$) зависимостей интенсивностей этих полос люминесценции в случае непрерывной накачки показал, что рассматриваемые зависимости отражают механизм последовательной безызлучательной передачи энергии от ионов Yb^{3+} к ионам Tm^{3+} [7, 10]. В то же время зависимости, полученные при использовании возбуждения фемтосекундным излучением, позволяют предположить, что наряду с этим процессом существенные вклады могут вносить и процессы как однофотонного, так и многофотонного возбуждения ионов Tm^{3+} . Последнее может быть обусловлено, прежде всего, значительно большей пиковой мощностью фемтосекундных импульсов [2]. Кроме того, возможно и влияние нелинейного эффекта фотопросветления [13], связанного с насыщением населенности промежуточных уровней и приводящего к уменьшению наклона $\log\text{-}\log$ зависимости [14]. Поэтому требуются дополнительные исследования протекания АК процессов при режимах возбуждения фемтосекундным или непрерывным лазерным излучением.

В этой работе представлены результаты исследования кинетических характеристик АК люминесценции в зависимости от мощности возбуждающего излучения. В экспериментах для возбуждения АК люминесценции использовались лазерные источники, описанные в

работе [1]. Непрерывное излучение модулировалось с помощью блока управления, а включение и выключение фемтосекундного излучения осуществлялось с помощью механического прерывателя. Для регистрации осциллограмм использовался ФЭУ-118 и осциллограф TDS5104.

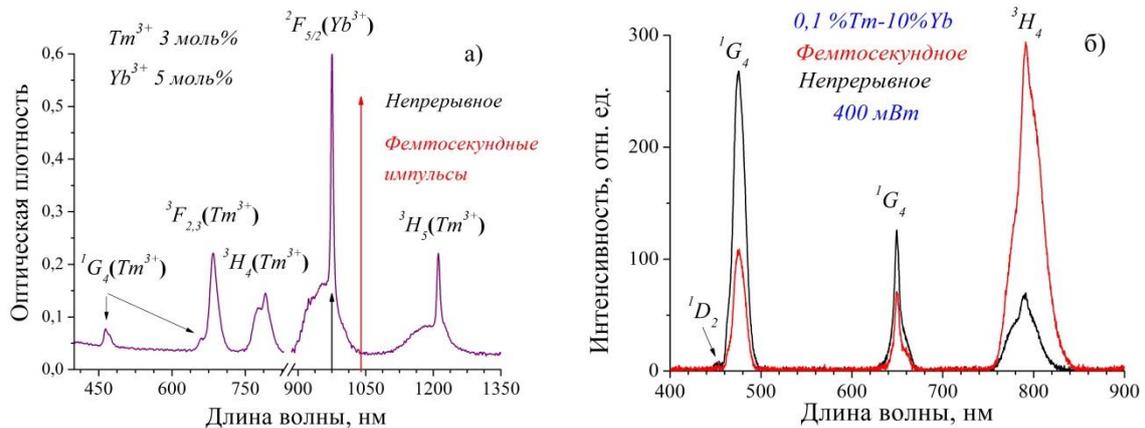


Рисунок 1 – Спектр поглощения образца с указанием длин волн возбуждения (а) и спектры ап-конверсионной люминесценции образца (б) при возбуждении непрерывным излучением (черный) и фемтосекундными импульсами (красный)

Осциллограммы фронтов нарастания и затухания АК люминесценции при различной мощности возбуждающего непрерывного и фемтосекундного излучения приведены на рис. 2. На рисунке видно, что в случае возбуждения непрерывным излучением кинетические зависимости характеризуются последовательностью нескольких участков с разными характерными временами, τ , соответствующими, например, медленному и быстрому процессам (рис. 2 а, в). Наличие медленной составляющей может быть связано с обратной передачей энергии от ионов Tm^{3+} к Yb^{3+} [15]. При фемтосекундном возбуждении этот процесс можно характеризовать одной экспонентой (рис. 2 б, г).

Для лучшей наглядности осциллограммы фронтов разнесены, цифрами обозначены соответствующие мощности возбуждающего излучения. Время нарастания уменьшается с ростом мощности как непрерывного, так и фемтосекундного возбуждающего излучения (рис 3 а). При непрерывном возбуждении наряду с передачей энергии от Yb^{3+} к Tm^{3+} увеличение населенности уровня 1G_4 может осуществляться также за счет кооперативных процессов путем передачи энергии от возбужденных пар ионов иттербия Yb^*-Yb^* [7]. Это возможно при высокой мощности возбуждающего излучения и достаточно большой концентрации ионов иттербия. При фемтосекундном возбуждении наблюдается резкое уменьшение времени формирования переднего фронта.

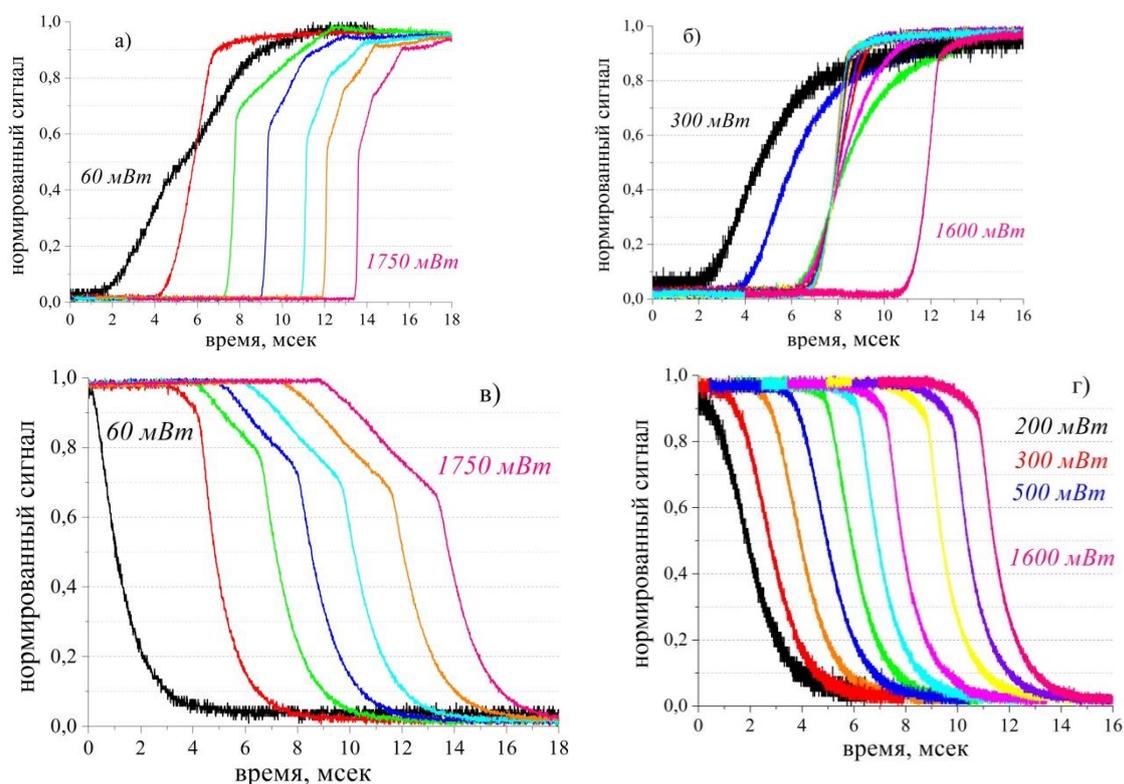


Рисунок 2. Осциллограммы фронтов нарастания (а, б) и затухания (в, г) АК люминесценции (475 нм), возбуждаемой модулированным непрерывным (а, в) и фемтосекундным (б, г) излучением

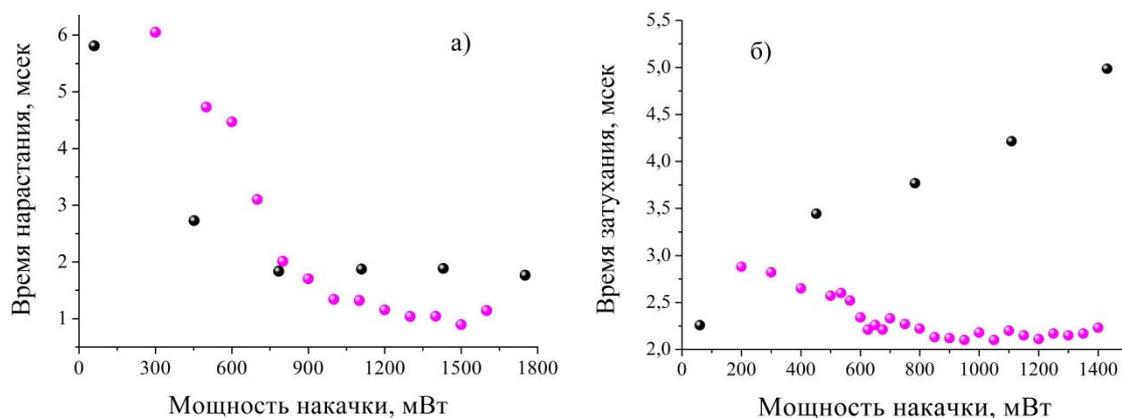


Рисунок 3 – Зависимости времен нарастания (а) и затухания (б) от мощности, возбуждающего непрерывного (черные шарики) и фемтосекундного (сиреневые шарики) излучения

Параметры полученных кинетических зависимостей нарастания и затухания АК люминесценции для граничных значений исследуемых диапазонов мощностей возбуждающего излучения приведены в таблице.

Таблица – Характеристические времена затухания и нарастания АК люминесценции при различной мощности возбуждающего излучения

Непрерывное возбуждение		
P, мВт	τ нарастания, мсек	τ затухания, мсек
60	3	1,23
1750	2,4	1,21
Фемтосекундное возбуждение		
P, мВт	τ нарастания, мсек	τ затухания, мсек
300	2,9	3,06
1600	2,2	1,18

Отметим, что время нарастания люминесценции при увеличении мощности фемтосекундного возбуждения уменьшается аналогично тому, как это происходит при непрерывном возбуждении (рис. 3 а). Но процесс затухания люминесценции при непрерывном возбуждении ведёт себя совершенно иначе, чем при фемтосекундном возбуждении с ростом мощности накачки (рис 3 б). В последнем случае изменение скорости затухания процесса с уровня 1G_4 может быть связано как с влиянием на него релаксационных процессов с более высоких возбужденных состояний (1D_2 , 1I_6 и $^3P_{0,1,2}$), так и обменных процессов с участием других возбужденных состояний.

Таким образом, кинетические характеристики АК люминесценции ионов туллия с мультиплета 1G_4 подтверждают различие механизмов его заселения и взаимодействия между ионами Tm^{3+} и Yb^{3+} , как в зависимости от режима возбуждения, так и от мощности возбуждающего излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ап-конверсия во фторфосфатных стеклах с ионами иттербия и туллия, возбуждаемая последовательностью ультракоротких импульсов на длине волны 1038 нм, либо непрерывным излучением в области 975 нм / И.А. Ходасевич [и др.] // VII Конгресс физиков Беларуси: сборник науч. трудов, Минск, Беларусь, 26–28 апреля, 2023 / ООО «Ковчег», 2023. – С. 222–223.
2. Femtosecond Laser-Induced Upconversion Luminescence in Rare-Earth Ions by Nonresonant Multiphoton Absorption / Yu.Yao et al. // J. Phys. Chem. A. – 2016. – Vol. 120. – P. 5522–5526.
3. Upconversion luminescence from aluminoborate glasses doped with Tb^{3+} , Eu^{3+} and Dy^{3+} under the excitation of 2.6- μm femtosecond laser pulses / M.H. Yuan [et al.] // Opt. Express. – 2015. – Vol.23. – P. 21909.
4. Controlling multiphoton excited energy transfer from Tm^{3+} to Yb^{3+} ions by a phase-shaped femtosecond laser field / Ye. Zheng [et al.] // Photonics Research. – 2019. - Vol. 7. – P. 486.

5. Optimizing femtosecond laser-induced upconversion luminescence enhancement and suppression of Dy³⁺-doped glass / Y. Huang [et al.] // *Laser Phys. Lett.* – 2020. – Vol. 17. – P. 016001.
6. Mikheeva A.V., Kazakov B.N. Rise kinetics of up-conversion luminescence under pulsed excitation. Probabilistic model and experiment / *J. Lumin.* – 2019. – Vol. 205. – P. 167.
7. Kolobkova E., Grabtchikov A. S., Khodasevich I. A. Upconversion Luminescence and Energy Transfer in the Fluorophosphate Glasses with low Phosphate Content doped with Tm³⁺ and Yb³⁺ ions / *J. of Non-Crystalline Solids: X.* – 2021. – Vol. 11-12. – P. 100065.
8. Quantitatively identifying the upconversion luminescence mechanisms of Er³⁺:NaYF₄ nanocrystals in aluminosilicate glass ceramics under femtosecond laser field / X. Xie [et al.] // *J. Lumin.* – 2023. – Vol. 255. – P. 119567.
9. Realizing up-conversion fluorescence tuning in lanthanide-doped nanocrystals by femtosecond pulse shaping method / S. Zhang, et al. // *Scientific Reports.* – 2017. – Vol. 7. – P. 45650.
10. Line Verification in Luminescence Spectra of Fluorophosphate Glass Doped with Ytterbium and Thulium Ions by the Degree of Nonlinearity of Up-Conversion Processes / M. V. Korolkov [et al.] // *Journal of Applied Spectroscopy.* – 2023. – Vol. 90. – P. 982–987.
11. Visible and near infra-red up-conversion in Tm³⁺/Yb³⁺ co-doped silica fibers under 980 nm excitation / D. A. Simpson et al. // *Optics Express.* – 2008. – Vol.16. – P. 13781.
12. Power dependence of upconversion luminescence in lanthanide and transition-metal-ion systems / M. Pollnau [et al.] // *Phys. Rev. B.* – 2000. – Vol. 61. – P. 3337–3346.
13. Nyk M., Wawrzynczyk D., Parjaszewski K., Samoc M. Spectrally Resolved Nonlinear Optical Response of Upconversion Lanthanide-Doped NaYF₄ nanoparticles / *J. Phys. Chem. C.* – 2011. – Vol. 115. – P. 16849–16855.
14. Riedener T., Guedel H., McFarlane R. A. Infrared to visible up-conversion in Cs₃Yb₂C₁₉:Tm³⁺ / *J. Lumin.* – 1995. – Vol. 63. – P. 327–337.
15. Near-infrared quantum cutting in Tm³⁺/Yb³⁺-doped phosphate glasses / D.-Y. Shi [et al.] // *Results in Physics.* – 2020. – Vol. 19. – P. 103411.

УДК 535.37+541.65+543.4

Д.В. Кленицкий, канд. физ.-мат. наук, доц. (БГТУ, г. Минск);
Л.Л. Гладков, проф., д-р физ.-мат. наук (БГАС, г. Минск);
А.Б. Крылов, доц., канд. биол. наук;
И.В. Вершиловская, ст. преп., канд. биол. наук;
Н.Н. Крук, зав. кафедрой физики, проф., д-р физ.-мат. наук
(БГТУ, г. Минск)

О НЕЭКВИВАЛЕНТНОСТИ NH-ЦЕНТРОВ В ЯДРЕ МАКРОЦИКЛА СВОБОДНЫХ ОСНОВАНИЙ КОРРОЛОВ

Тетрапиррольные макрогетероциклические соединения обладают развитой сопряженной электронной системой, которая обеспечивает коммуникацию π -электронов скелетных атомов по всему макроциклу. Синтез огромного количества макрогетероциклических соединений с молекулярной конформацией, характеризующейся значительными отклонениями от планарного строения макроцикла, и развитие концепции конформационной подвижности макроцикла [1] привели к необходимости пересмотра ранних представлений о формировании сопряженной π -электронной системы в макрогетероцикле.

Такие соединения могут быть ароматическими, причем в формировании ароматического π -сопряженного контура принимают участие все скелетные атомы макроцикла, вклады которых могут существенно варьироваться в зависимости от строения молекулы [2].

Характеристики межмолекулярных взаимодействий в ядре макроцикла в значительной степени зависят от ориентации пиррольных колец относительно средней плоскости макроцикла и свойств связей N–H, которые, в свою очередь, определяются распределением электронной плотности в макроцикле и степенью гибридизации атома азота.

Выполнение тетрапиррольными соединениями своих биологических функций сопряжено с перестройками молекулярной конформации макроцикла [3], и, соответственно, с изменениями указанных характеристик.

При этом необходимо учесть, что несимметричный характер архитектуры периферического замещения порфиринового макроцикла, либо асимметрия самих макрогетероциклов, приводят к тому, что атомы азота отдельных пиррольных колец обладают существенно отличающимися углом наклона φ относительно средней плоскости макроцикла и значениями степени гибридизации λ^2 .

Макроцикл корролов, которые представляют собой сокращенные макроциклические соединения, содержит три метиновых мостика,

и, соответственно, два соседних пиррольных фрагмента соединены C_a-C_a связью, а сам макроцикл содержит три пиррольных и одно пирролениновое кольцо (рис. 1).

При этом пиррольный фрагмент донирует в π -электронную систему макроцикла на один электрон больше, чем пирролениновый, и данные структурные изменения компенсируют уменьшение количества π -электронов в макроцикле из-за отсутствия одного C_m -атома углерода.

В результате наличия в ядре макроцикла трех протонов свободные основания корролов имеют дополнительные особенности. Во-первых, стерические взаимодействия трех протонов в ядре макроцикла приводят к нарушению его планарности даже при отсутствии любых других возмущающих факторов; во-вторых, свободные основания коррола всегда существуют в виде конформеров – NH-таутомеров, отличающихся расположением трех протонов в асимметричном тетрапиррольном макроцикле (рис. 1).

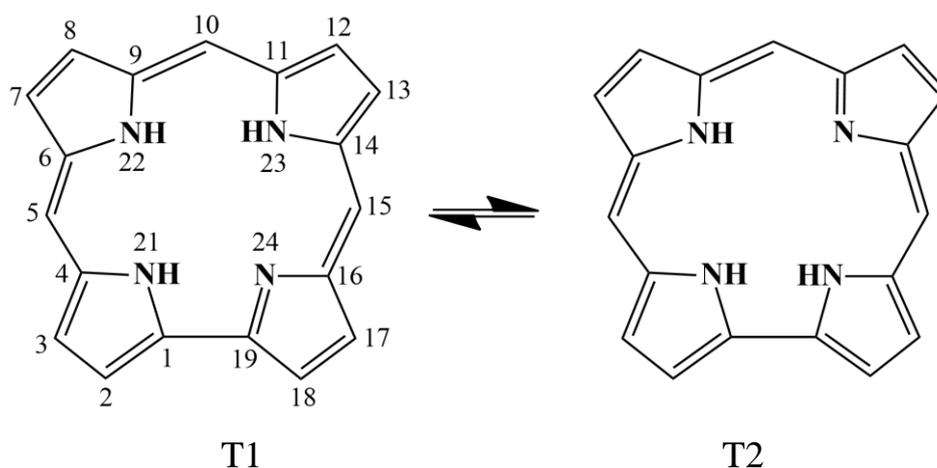


Рисунок 1 – Молекулярная структура NH-таутомеров коррола. Нумерация атомов дана согласно номенклатуре IUPAC

Такие структурные особенности приводят к значительным различиям в спектрально-люминесцентных и физико-химических характеристиках корролов по сравнению с порфиринами, а также различиям между двумя NH-таутомерами [4]. Выполненные оценки позволили предположить, что в силу структурных особенностей строения макроцикла степень гибридизации λ^2 каждого из атомов азота в ядре макроцикла индивидуальна.

Для проверки данной гипотезы нами были выполнены расчеты степени гибридизации λ^2 атомов азота для свободных оснований коррола с различной архитектурой периферического замещения, и их протонированных/N-алкилированных производных (см. табл. ниже).

Степень гибридизации λ^2 атома азота рассчитывали по уравнению $1 + \lambda^2 \cos \theta = 0$, где θ – среднее арифметическое величин трех углов между направлениями связей атома азота с соседними атомами $\theta(C_aNC_{зам})$, $\theta(C_aNC_a)$ и $\theta(C_aNC_{зам})$.

Расчеты выполняли для структур, молекулярная геометрия которых в основном синглетном S_0 -состоянии оптимизировалась методом функционала плотности (DFT) с обменно-корреляционным функционалом PBE и трехэкспоненциальным базисом 3z, реализованном в программном пакете для квантово-химических расчетов «Природа» [5].

Для оптимизированной структуры рассчитывали энергию основного состояния молекулы, энергии молекулярных орбиталей и определяли длины связей между скелетными атомами макроцикла.

Таблица – Степень гибридизации λ^2 для атомов азота пиррольных колец королюв с различной архитектурой периферического замещения и состоянием макроциклического ядра. Числитель и знаменатель у свободных оснований королюв относятся к NH-таутомерам T1 и T2

Молекула	λ^2			
	Пиррол А	Пиррол В	Пиррол С	Пиррол D
H ₃ Кор	2,010/ 2,096	2,231/ 2,078	2,002/-	-/2,022
H ₃ ОктаАлкКор	2,012/ 2,125	2,262/ 2,071	2,002/-	-/2,006
H ₃ ТетраАлкКор	2,002/ 2,078	2,268/ 2,103	2,002/-	-/2,022
H ₃ ТриАрилКор	2,003/ 2,079	2,234/ 2,089	2,003/-	-/2,027
H ₄ Кор ⁺	2,202	2,297	2,293	2,203
H ₄ ОктаАлкКор ⁺	2,228	2,306	2,300	2,225
H ₄ ТриАрилКор ⁺	2,166	2,297	2,289	2,154
H ₃ (N ₂₁ -CH ₃)ТриАрилКор ⁺	2,553	2,061	2,392	2,156
H ₃ (N ₂₂ -CH ₃)ТриАрилКор ⁺	2,057	2,700	2,153	2,253

Анализ представленных в табл. результатов показывает, что степень гибридизации λ^2 различна у атомов азота всех четырех пиррольных колец, причем каждый из двух NH-таутомеров обнаруживает собственный уникальный набор значений λ^2 , при этом обнаруживается зависимость от архитектуры периферического замещения: алкилирование по C_b атомам углерода сопровождается заметно меньшим значением степени гибридизации λ^2 азота пиррола В, чем присоединение арильных групп по C_b атомам.

У протонированных форм, которые являются более симметричными, степень гибридизации λ^2 также различается у четырех атомов азота. При этом протонирование атома азота одного из колец либо образование ковалентной связи с алкильными или галоидалкильными группами приводят к значительному росту степени гибридизации λ^2 атомов азота во всех пиррольных кольцах.

Таким образом, можно однозначно утверждать, что пиррольные кольца в макрогетероцикле не являются эквивалентными, и многоцентровые межмолекулярные взаимодействия в ядре макрогетероцикла должны анализироваться с учетом их неэквивалентности. Благодаря эффективной NH-таутомерии ядро макрогетероцикла представляет собой динамическую систему четырех индивидуальных центров.

Установление механизмов влияния гибридизации атомов азота пиррольных колец макрогетероцикла на его физико-химические и спектрально-люминесцентные характеристики является, по нашему мнению, ключевым элементом для моделирования межмолекулярных взаимодействий в ядре макроцикла при хелатировании ионов металлов, протонировании, комплексообразовании с анионами, специфической сольватации в растворах и связывании с (био)полимерами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Senge M.O., MacGovan S.A., O'Brien J. Conformational control of cofactors in nature – the influence of protein-induced macrocycle distortion on the biological function of tetrapyrroles // *Chem. Commun.* – 2015. – Vol. 51. – № 96. – P. 17031–17063.
2. Fliegl H., Sundholm D. Aromatic Pathways of Porphins, Chlorins, and Bacteriochlorins // *J. Org. Chem.* – 2012. – Vol. 77. – № 7, – P. 3408–3414.
3. Senge M.O. The conformation flexibility of tetrapyrroles – current model studies and photobiological relevance // *Photochem. Photobiol.* – 1992. – Vol.16. – № 1. – P. 3–36.
4. Beenken W.J.D., Presselt M., Ngo T.H., Dehaen W., Maes W., Kruk M.M. Molecular Structures and Absorption Spectra Assignment of Corrole NH Tautomers // *J. Phys. Chem., A.* – 2014. – Vol. 118. – № 5. – P. 862–871.
5. Laikov D.N. Fast evaluation of density functional exchange-correlation terms using the expansion of the electron density in auxiliary basis sets // *Chem. Phys. Lett.* – 1997. – Vol. 281. – № 1. – P. 151–156.

И.И. Наркевич, проф., д-р физ.-мат. наук;
 Е.В. Фарафонтова, доц., канд. физ.-мат. наук
 (БГТУ, г. Минск)

СОКРАЩЕННОЕ СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФЛУКТУАЦИЙ В НАНОРАЗМЕРНЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМАХ

Первые численные расчеты по практической реализации идеи о принципиальной возможности сокращенного описания тепловых флуктуаций были проведены в работе [1]. В рамках двухуровневого статистического метода [2] ранее было получено выражение для функционала свободной энергии неоднородных молекулярных или коллоидных систем.

Для статистического сокращенного описания флуктуаций предложено использовать понятие об элементарных флуктуациях плотности (ЭФП), которые самопроизвольно возникают на фоне однородной макроскопической либо наноразмерной системы. При численных расчетах в качестве ЭФП использовались сферические пространственные волны с всевозможными допустимыми значениями амплитуд x в центрах таких флуктуаций и волновых чисел k :

$$\Delta n(x, k, r) = n\{r\} - n_c = x \frac{\sin(kr)}{kr}. \quad (1)$$

Здесь $n\{r\}$ – дискретное поле чисел заполнения молекулами микроячеек метода условных распределений Ротта [3], соответствующее одиночной ЭФП в объеме системы, n_c – среднее значение чисел заполнения для однородной системы при заданных значениях термодинамических параметров.

Совокупность возникающих в объеме изучаемой системы рассматривается как своеобразный статистический ансамбль. Распределение по амплитудам и волновым числам взаимодействующих квази-частиц, которыми являются ЭФП, описывается с помощью бесконечной цепочки интегро-дифференциальных уравнений для коррелятивных функций одиночной ($W_1\{x_i\}$), бинарной ($W_2\{x_i, x_j\}$) и т. д. элементарных флуктуаций плотности ($i, j = 0, 1, \dots, M$). В фигурных скобках под обозначениями x_i следует понимать набор из параметров ЭФП (амплитуд и волновых чисел) с центрами в центрах микроячеек метода условных распределений с номерами i, j и т. д. Первое уравнений этой бесконечной цепочки имеет следующий вид [1]:

$$\frac{\partial W_1\{x_i\}}{\partial x_i} + \frac{1}{\theta} \frac{\partial \Psi\{x_i\}}{\partial x_i} W_1\{x_i\} + \frac{1}{\theta} \sum_{j \neq i}^M \int_{x_j} \frac{\partial \Psi\{x_i, x_j\}}{\partial x_i} W_2\{x_i, x_j\} dx_j = 0. \quad (2)$$

Здесь $\Psi\{x_i\}$ и $\Psi\{x_i, x_j\}$ – эффективные потенциалы, описывающие взаимодействие соответственно одиночных ЭФП со средой и между двумя одиночными ЭФП, которые с учетом принципа суперпозиции образуют бинарную флуктуацию плотности с двумя центрами, совпадающими с центрами i и j двух микрочеек.

Эффективные потенциалы $\Psi\{x_i\}$ и $\Psi\{x_i, x_j\}$ рассматриваются как энергии спонтанного образования ЭФП в наночастице, находящейся внутри термостата с заданными термодинамическими параметрами и обозначаются буквой Ω . Энергии образования одиночных и бинарных ЭФП численно рассчитаны для молекулярной системы с взаимодействием Леннард-Джонса.

В результате численного усреднения флуктуаций поля плотности в двух точках внутри сферической наночастицы в дальнейшем позволит рассчитать корреляционную функцию $G(r)$ наноразмерной системы, что не может быть получено в рамках известной флуктуационной теории [4], которая разработана для макроскопических систем.

В качестве примера на рис. 1 изображены амплитудные и спектральные зависимости энергии образования Ω_1 одиночных сферических ЭФП, которые имеют заданные значения амплитуд x (в интервале от минус 0,05 до плюс 0,05) и волновых чисел k ($k \leq 0,4$). Максимальная амплитуда указанного интервала соответствует десяти процентам отклонения плотности среды в центре ЭФП от ее однородного значения в термостате, а волновое число $k = 0,4$ соответствует длине волны $\lambda = 15,7$, которая равна половине радиуса сферической наночастицы.

Полученные результаты численных расчетов для энергий образования одиночных и бинарных ЭФП позволяют приступить к решению бесконечной цепочки интегро-дифференциальных уравнений (2) после ее преобразования к соответствующей бесконечной системе интегральных уравнений и ее обрыва путем обобщения разработанного ранее метода потенциалов средних сил молекулярной системы на аналогичный случай исследуемой здесь открытой системы взаимодействующих ЭФП в объеме наночастицы.

В качестве первого шага решения сформулированной выше достаточно сложной (объемной) задачи воспользуемся приближенными решениями для коррелятивных функций $W_1\{x_i\}$ и $W_2\{x_i, x_j\}$, описывающих распределения ЭФП по их амплитудам x и волновым числам k .

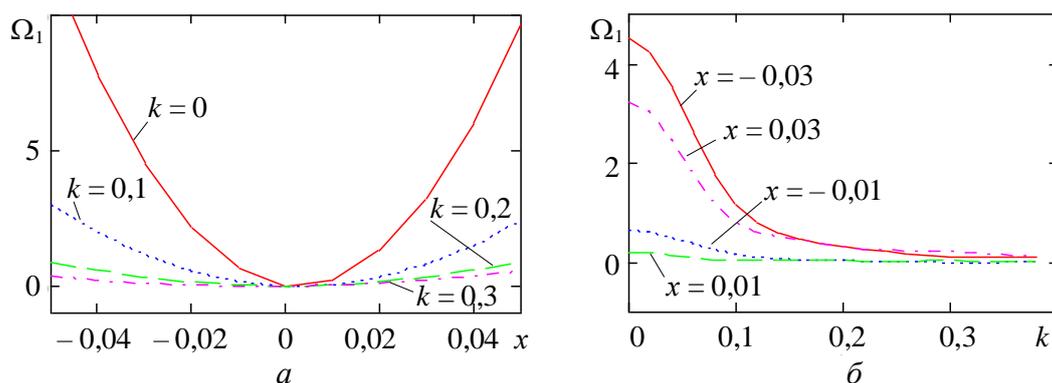


Рисунок 1 – Амплитудные (а) и спектральные (б) зависимости энергии образования Ω одиночных ЭФП с заданными значениями волновых чисел k и амплитуд x

Предположим, для этого, что ЭФП слабо взаимодействуют друг с другом, что справедливо для разреженной, т. е. идеальной системы квазичастиц, которые взаимодействуют только с однородной средой, на фоне которой они спонтанно возникают. В этом случае решения для функций W_1 и W_2 имеют следующий вид:

$$W_1 = A_1 e^{-\Omega_1(x,k)/\theta}, \quad W_2 = A_2 e^{-\Omega_2(x_1,k_1,x_2,k_2)/\theta} \quad (3)$$

В результате были рассчитаны зависимости ненормированных функций распределения W_1 и W_2 от соответствующих параметров (амплитуд и волновых чисел).

ЛИТЕРАТУРА

1. Наркевич И.И., Фарафонтова Е.В. Волосевич З.Г. Статистическое исследование спектральных и амплитудных характеристик энергии образования флуктуаций в наноразмерных системах. // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. – 2023. – № 2 (272).
2. Наркевич И.И. Двухуровневый статистический метод описания неоднородных систем. Ч. 1. Симбиоз методов коррелятивных функций и термодинамических функционалов плотности: монография. – Нордерштедт: LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2019. – 114 с.
3. Ротт Л.А. Статистическая теория молекулярных систем. – М.: Наука, 1979. – 280 с.
4. Паташинский А.З., Покровский В.Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. – М.: Наука, 1982. – 382 с.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ

Один из важных вопросов в исследовании межфазных явлений занимает проблема распространения поверхностных явлений на малые объекты. Подход, намеченный еще Дж. В. Гиббсом [1], сводит эту проблему к учету размерной зависимости поверхностного натяжения.

Для малых объектов нанометрового диапазона размеров, к которым относятся наночастицы, А. И. Русанов [2] получил асимптотическую линейную зависимость для поверхностного натяжения σ :

$$\sigma = KR, \quad (1)$$

где K – коэффициент пропорциональности, R – радиус поверхности натяжения. Выражение (1) получено на основе термодинамического рассмотрения и должна быть применима к малым объектам различной природы. Однако, границы применимости линейной формулы (1) и значения параметра K для конкретных систем остаются до сих пор практически не исследованными.

В работах [3, 4] размерная зависимость эффективной удельной свободной энергии $\sigma(R)$ исследовалась для малых капель простого леннард-джонсоновского флюида. Для расчета равновесной структуры неоднородных флюидных систем служит метод классического функционала плотности (МКФП).

В рамках этого метода задается большой термодинамический потенциал $\Omega[\rho]$ как функционал локальной плотности ρ числа молекул флюида. В объемной части этот флюид может быть в состоянии пара или жидкости.

Большой термодинамический потенциал однокомпонентного флюида с жидкой пленкой или паровой прослойкой вблизи сферической твердой частицы радиуса R_p в заданном объеме V и при заданном химическом потенциале μ определяется следующим образом:

$$\Omega[\rho] = \int_V \left\{ kT\rho \left[\ln(\lambda^3\rho) - 1 + \frac{4\eta - 3\eta^2}{(1-\eta)^2} \right] - \frac{\partial^2\Omega}{\partial v^2} - a\rho^2 + \frac{C}{2}(\nabla\rho)^2 - \mu\rho + \rho w \right\} d\vec{r}. \quad (2)$$

Здесь \vec{r} – радиус-вектор из центра частицы в точку системы, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура системы,

$\lambda = \hbar \sqrt{2\pi / (mkT)}$ – тепловая длина волны де Бройля (\hbar – постоянная Планка, m – масса молекулы флюида), $\eta = \pi d^3 \rho / 6$ – безразмерная молекулярная плотность флюида (d – диаметр молекулы), a – параметр межмолекулярного притяжения во флюиде в приближении среднего поля, $C = 14\sigma^5 kT$ – параметр, связанный с поверхностным натяжением на плоской поверхности раздела жидкой и газовой фаз, $\sigma = (\pi/6)^{1/3} d$, μ – химический потенциал молекул флюида. Величина w является полным потенциалом взаимодействия сферической твердой частицы с молекулой флюида в точке \vec{r} .

В работе [5] к исследованию размерной зависимости удельной свободной энергии малых кристаллов, включая нанокристаллы, был применен метод термодинамической теории возмущений. Расчеты проводились для гранецентрированных кубических кристаллов, к которым относятся, в частности, инертные газы.

Анализ статистических исследований в области межфазных явлений позволяет сделать вывод о возможности описания поверхностного натяжения сферических кристаллических частиц в раках двухуровневого статистического метода, который базируется на совместном использовании метода коррелятивных функций Боголюбова – Борна – Грина – Кирквуль – Ивона (ББГКИ), метода условных распределений Ротта и метода функционала плотности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гиббс Дж.В. Термодинамические работы. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1950. – С. 303.
2. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления. – Л.: Химия, 1967. – 388 с.
3. Лебедева Т.С., Су Д., Щёкин А.К. Зависимость поверхностного натяжения капли, образованной на молекулярном ядре конденсации или ионе, от радиуса капли // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2020. – № 1. – С. 68–76.
4. Единый подход к расклинивающему давлению в жидких и паровых прослойках в рамках метода функционала плотности / А.К. Щёкин [и др.] // Коллоидный журнал. – 2021. – Т.83, № 2. – С. 235–241.
5. О поверхностном натяжении нанокристаллов различной природы / Н. Ю. Сдобняков [и др.] // Конденсированные среды и межфазные границы. 2007. Т. 9. № 3. С. 255–260.

Т.Б. Карлович, доц., канд. физ.-мат. наук;
Р.Н. Ласовский, доц., канд. физ.-мат. наук
(БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛЧКА TIP-TOP В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ ЕГО ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ

Волчком tip-top (tippe top) или волчком Томпсона называется кинетическое устройство сферического типа, которое при раскручивании на неподвижной горизонтальной поверхности может переворачиваться на 180° в вертикальной плоскости. Обычно такой волчок представляет собой полую сферу, срезанную выше экватора с цилиндрической ножкой внутри. Волчок является симметричным телом с осью вращения, проходящей через цилиндрическую ножку, и центром тяжести, находящимся ниже центра сферы. Для переворота волчка и поднятия его центра тяжести выше центра сферы (верчение волчка на ножке) необходимо раскрутить волчок до определенной угловой скорости. В случае малой скорости вращения переворота не происходит, а возникает лишь прецессия оси симметрии волчка.

Объяснение переворота волчка связано с решением задачи о движении тела по твердой неподвижной поверхности без проскальзывания с учетом силы трения. Еще в середине прошлого века появился ряд работ, качественно объясняющих поворот оси симметрии быстро закрученного волчка, основанных на решении нелинейных динамических уравнений. Задача о существовании и устойчивости непрерывных вращений сферы на горизонтальной поверхности была исследована в работе [1]. В работе [2] рассмотрена модель движения шара, центр масс которого лежит на оси динамической симметрии. На него действует сила трения скольжения, пропорциональная скорости точки контакта с плоскостью. Получены приближенные уравнения, описывающие динамику шара, и найдены условия существования устойчивых решений, в том числе для случая расположения центра тяжести шара выше его центра симметрии.

В работе [3] рассмотрены теоретическая модель и экспериментальная реализация волчка tip-top. Выделены три типа динамического поведения: с опрокидыванием, без опрокидывания и наклонное, при котором волчок поднимается, но не переходит в вертикальное положение, а остается в некотором промежуточном состоянии. Найдены условия, при которых осуществляется переход от одного типа вращения к другому, а также изготовлены и протестированы несколько об-

разцов волчка «три-в-одном» с подвижным центром тяжести. Перемещение центра тяжести в образцах позволяет наблюдать три типа их динамического поведения.

Во всех приведенных выше работах предполагалось, что волчок представляет собой сплошное тело вращения (сферу, шар). Это упрощает математическое описание волчка tip-top. В настоящей работе нами экспериментально исследовалось динамическое устройство в виде неполной сферы с ножкой внутри, позволяющей вручную раскручивать волчок. На рис. 1 представлены три волчка, использовавшихся в эксперименте. Все волчки были изготовлены из одинаковых пластиковых сфер толщиной 1 мм и внешним радиусом 19 мм. Ножки у волчков также были одинаковыми: толщина – 5 мм и длина 41 мм, масса волчков составляла $m = 5$ г. Они отличались диаметром среза сферы вокруг ножки. Самый маленький диаметр составил 23 мм у волчка № 4, у волчка № 1 диаметр – 25 мм, у волчка № 3 – 27 мм.



Рисунок 1 – Экспериментальные образцы волчка tip-top

Каждый волчок раскручивался несколько раз и проводилась его съемка высокоскоростной камерой с частотой 240 кадров в секунду. Полученные видеоролики обрабатывались в программе покадрового просмотра видеофайлов, что позволило с достаточной степенью точности определить угловую скорость вращения волчка: $\Delta\omega \sim 0,1\omega$. Траектории движения всех волчков сильно зависели от начальных условий раскручивания. В большинстве случаев после переворота волчка за короткое время можно было достаточно долго наблюдать его движение на ножке по траектории близкой к окружности до полной остановки и обратного переворота в положение с центром тяжести ниже центра сферы. Лучше всего переворачивался волчок № 4, имеющий минимальный диаметр среза и, соответственно минимальное расстояние от центра тяжести до центра сферы. Также волчок № 4 имел наибольшую среднюю угловую скорость $\omega = 120$ рад/с и совершил наибольшее количество оборотов за время одного из запусков: ~ 200

оборотов. Волчок № 1 имел среднюю угловую скорость $\omega = 110$ рад/с и совершил ~ 120 оборотов за время одного эксперимента. Волчок № 3 с наибольшим диаметром среза 27 мм при проведении эксперимента переворачивался слабо. В большинстве экспериментов его ось симметрии лишь отклонялась от вертикали, а после прецессии восстанавливалась в вертикальное положение. Для всех волчков расстояние между центром масс и центром симметрии сферы составляло $\sim 2,5\text{--}3,3$ мм. Это не соответствует результатам эксперимента работы [3], где для сферического волчка диаметром 50 мм предсказывается переверт его оси при смещении центра тяжести относительно центра симметрии шара на расстояние $\sim 8\text{--}18$ мм. Отсюда был сделан вывод, что влияние какой-то дополнительной силы, не учитываемой в расчетах работы [3], «мешает» опрокидыванию оси волчка tip-top.

В качестве такой силы, действующей на симметричное тело вращения, предлагается учесть силу сопротивления воздуха, который обтекает волчок изнутри и снаружи во время движения. Ее можно оценить по формуле

$$F_c = c \frac{\rho w^2}{2} s, \quad (1)$$

где c – коэффициент аэродинамического сопротивления для вращающихся тел, ρ – плотность воздуха, w – скорость набегающего воздушного потока, s – эффективная площадь. Для чисел Рейнольдса $\sim 10^5$ в соответствии с работой [4] примем значение $c = 0,48$. Тогда $F_c = 0,0065$ Н. Оценку силы трения произведем для коэффициента трения скольжения $\mu = 0,5$ с использованием равенства

$$F_m = \mu \cdot mg = 0,0245 \text{ Н}. \quad (2)$$

В соответствии с расчетами по формулам (1) и (2) сила сопротивления воздуха может составлять до 27% от силы трения скольжения и должна учитываться при решении нелинейных динамических уравнений

$$\begin{aligned} m\dot{\mathbf{v}} + \boldsymbol{\omega} \times m\mathbf{v} &= -mg\boldsymbol{\gamma} + (\mathbf{R} + \mathbf{F}_c), \\ I\dot{\boldsymbol{\omega}} + \boldsymbol{\omega} \times I\boldsymbol{\omega} &= \mathbf{r} \times (\mathbf{R} + \mathbf{F}_c) + \mathbf{M}, \\ \dot{\boldsymbol{\gamma}} + \boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{\gamma} &= 0, \\ (\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) \cdot \boldsymbol{\gamma} &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где \mathbf{v} – скорость центра масс, $\boldsymbol{\omega}$ – угловая скорость, \mathbf{r} – радиус-вектор, проведенный из центра масс к нижней точке сферы Q , $\boldsymbol{\gamma}$ – единичный вектор восходящей вертикали, \mathbf{R} – реакция, приложенная в точке Q , \mathbf{F}_c – эффективная сила сопротивления воздуха, I – центральный тензор

инерции сферы относительно осей координат $G\xi$, $G\eta$, $G\sigma$, связанных со сферой, M – момент всех приложенных сил. Предполагается, что моменты инерции относительно осей $G\xi$ и $G\eta$ одинаковы между собой и отличаются от момента инерции относительно оси $G\sigma$.

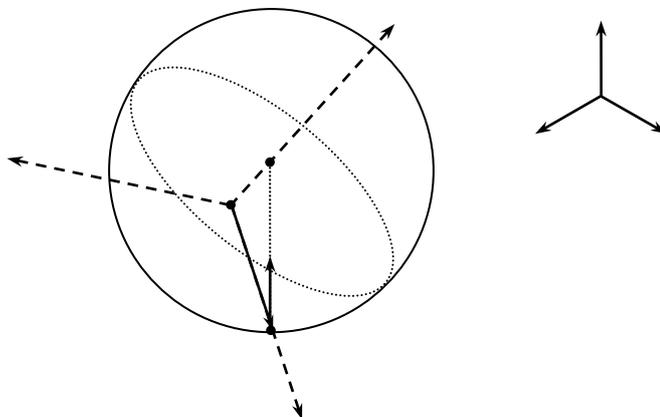


Рисунок 2 – Схематическое движение сферы по горизонтальной плоскости Oxy

Система уравнений (3) записана с учетом теорем об изменении количества движения и момента количества движения сферы, условия постоянства вектора восходящей вертикали γ и условия безотрывного движения сферы по горизонтальной плоскости.

В работе экспериментально исследовано движение волчка tip-top по горизонтальной поверхности. Показано, что для описания движения волчка и интерпретации переворота его оси симметрии в пространстве необходимо учитывать не только силу трения скольжения, но и силу сопротивления воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карапетян А.В. Глобальный качественный анализ динамики китайского волчка (тип-топ) // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2008. – Т. 43, № 3. – С. 33–41.
2. Карапетян А.В., Муницына М.А. Динамика волчка тип-топ при вязком трении // Труды МФТИ. – 2021. – Т. 13, № 1. – С. 114–121.
3. Чоччи М.С., Маленжье Б., Ланжерок Б., Гримонпре Б. К созданию прототипа сферического китайского волчка // Нелинейная динамика. – 2012. – Т. 1, № 2. – С. 391–425.
4. Герасимов С.А. Об автомодельности аэродинамического сопротивления // Вестник машиностроения. – 2007. – № 1. – С. 34–35.

РАВНОВЕСНЫЕ СВОЙСТВА РЕШЕТОЧНОГО ФЛЮИДА С ПРИТЯЖЕНИЕМ БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ НА ДВУХУРОВНЕВОЙ НЕПРЯМОУГОЛЬНОЙ РЕШЕТКЕ

Модель решеточного газа или решеточного флюида широко используется при описании процессов, протекающих на поверхностях и в объемах твердых тел [1], а также при изучении различных электрохимических систем [2].

Одним вариантом развития решеточной модели является модель решетки с энергетически неэквивалентными решеточными узлами. Например, может быть рассмотрена т.н. двухуровневая система, в которой присутствуют узлы двух разных типов [3, 4].

Ранее в работе [4] была предложена процедура построения непрямоугольной решетки, содержащей узлы двух типов (рис. 1). В дальнейшем для данной системы был развит алгоритм моделирования ее равновесных свойств по методу Монте-Карло и предложены два аналитических приближения для оценки этих свойств: квазихимическое (КХП) и диаграммное (ДП) приближения.

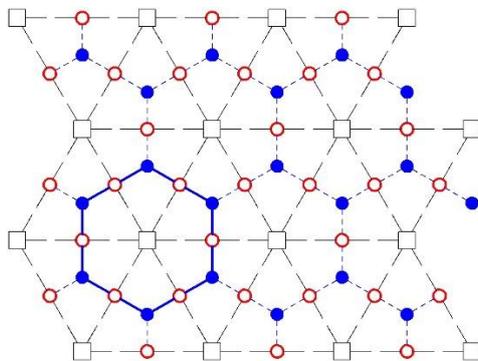


Рисунок 1 – Схематический вид решетки с двумя типами узлов. Квадраты соответствуют атомам кристаллической поверхности, светлые и темные круги – α- и γ-узлам решеточной модели

В настоящем докладе представлены результаты исследования термодинамических и структурных свойств одного из вариантов предложенной модели, а именно – системы с притяжением ближайших соседей.

На рис. 2 представлены изотермы химического потенциала исследуемой системы, вычисленные для температур выше и ниже критической температуры T_c .

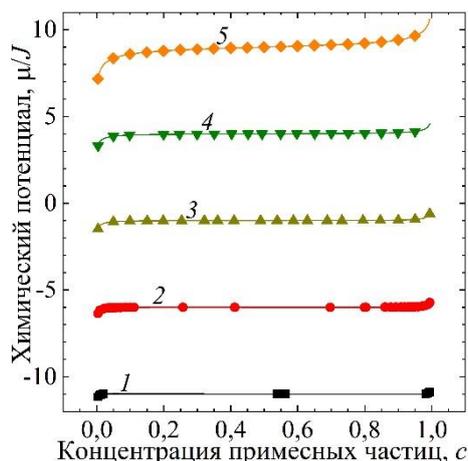


Рисунок 2 – Зависимость от концентрации химического потенциала системы (в единицах энергии взаимодействия ближайших соседей J) при $T / T_c = 0,80$ (кривая 1); 0,95 (2); 1,05 (3); 1,20 (4) и 2,00 (5). Линии – результаты ДП, точки – результаты МК-моделирования. Для большей наглядности каждая группа кривых смещена на 5 единиц вниз относительно предыдущей. Положение несмещенной кривой 3 характеризуется значением $\mu/J = -1$ при $c = 0,5$, которое является общим для всех температур

Из проведенного сопоставления видно, что результаты диаграммного приближения хорошо согласуются с результатами моделирования во всем диапазоне рассмотренных температур и концентраций. Как и следовало ожидать, в двухфазной области приближенные подходы дают петлю Ван-дер-Ваальса, в то время как моделирование системы демонстрирует постоянство химического потенциала. Это позволяет сделать вывод о фазовом переходе первого рода, проходящем в данной системе при температурах ниже критической. Вместе с тем величина отмеченной петли достаточно мала.

Одной из величин, описывающих структурные свойства исследуемой модели, является параметр порядка δc , определяемый разностью концентрации частиц на подрешетках.

Зависимость модуля параметра порядка от концентрации, определенная в рамках диаграммного приближения, представлена на рис. 3.

Прежде всего, следует отметить крайне низкое значение параметра порядка, свидетельствующее о слабовыраженной макроскопической упорядоченности системы.

Также можно говорить о сложном характере зависимости параметра порядка от температуры. Ход кривых 1–5 на рис. 3 свидетельствует о том, что с ростом температуры от $0,8 T_c$ до $2,0 T_c$ макроскопическая упорядоченность системы возрастает. В то же время при более высоких температурах ($6,0 T_c$, кривая 6 на рис. 3) происходит падение параметра порядка.

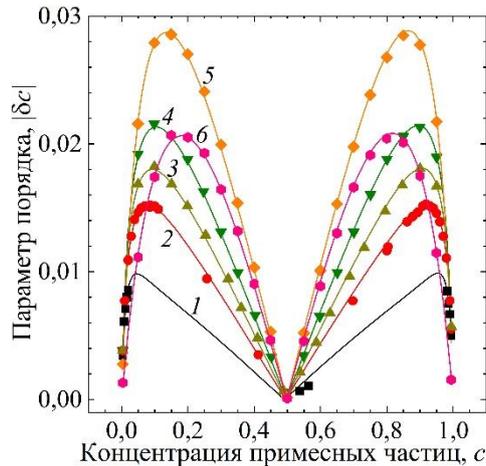


Рисунок 3 – Зависимость от концентрации модуля параметра порядка системы, определенная в диаграммном приближении $T / T_c = 0,80$ (кривая 1); $0,95$ (2); $1,05$ (3); $1,20$ (4); $2,00$ (5) и $6,00$ (6)

Обнаруженная немонотонность зависимости параметра порядка от температуры объясняется тем, что характер межчастичного взаимодействия приводит к тому, что макроскопическая упорядоченность в системе, обусловленная наличием в ней решеточных узлов различных типов, разрушается. В то же время рост температуры приводит к тому, что влияние межчастичных взаимодействий на свойства ансамбля частиц ослабевает, и упорядоченность в системе возрастает. Однако, дальнейший рост температуры приводит к тому, что решеточный флюид становится практически идеальным решеточным газом Ленгмюра, для которого энергетическая неоднородность решетки является несущественной.

Результаты моделирования полностью подтверждают отмеченные особенности в поведении параметра порядка как с качественной, так и с количественной точек зрения.

Локальное упорядочивание в исследуемой системе может быть описано с помощью функций вероятности двум соседним узлам быть занятыми частицами, либо с помощью корреляционных функций, определяемых отношением функций вероятности к аналогичным функциям для ленгмюровского газа.

Зависимость корреляционных функций от концентрации при температурах выше и ниже критической представлена на рис. 4.

Крайне низкое значение параметра порядка изучаемой системы приводит к тому, что все рассмотренные зависимости монотонно стремятся к 1 при росте концентрации. Также можно утверждать, что рост температуры ведет к ослаблению корреляций в заполнении решеточных узлов частицами.

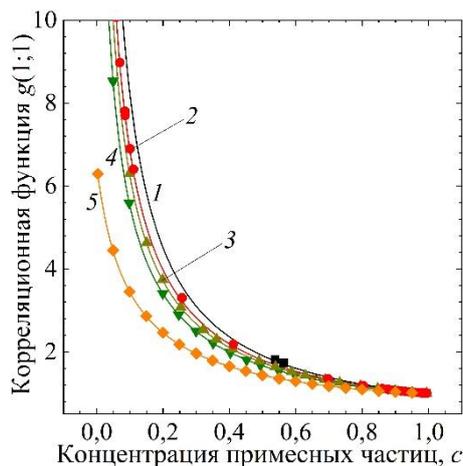


Рисунок 4 – Зависимость от концентрации корреляционной функции решеточного флюида с притяжением ближайших соседей на двухуровневой решетке при $T / T_c = 0,80$ (кривая 1); 0,95 (2); 1,05 (3); 1,20 (4) и 2,00 (5)

Сопоставление результатов аналитических расчетов и данных моделирования показывает, что предлагаемое диаграммное приближение позволяет определять термодинамические и структурные характеристики решеточного флюида с притяжением ближайших соседей на двухуровневой решетке с точностью не уступающей точности метода Монте-Карло во всей области изменения температур и концентраций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Domb C. On the theory of cooperative phenomena in crystals // *Advan. Phys.* – 1960. – Vol. 9. – P. 149–361.
2. Superionic liquids in conducting nanoslits: insights from theory and simulation / Groda Ya., Dudka M., Kornyshev A.A., Oshanin G., Kondrat S. // *J. of Phys. Chem. C.* – 2021. – Vol. 125. – P. 4968–4976.
3. Groda Y.G., Lasovsky R.N., Vikhrenko V.S. Equilibrium and diffusion properties of two-level lattice systems: Quasi-chemical and diagrammatic approximation versus Monte Carlo simulation results // *Solid State Ionics.* – 2005. – Vol. 176. – P. 1675–1680.
4. Грода Я.Г., Грода Н.Г., Бильданов Э.Э. Аналитические приближения для оценки свободной энергии решеточного флюида на двухуровневой прямоугольной решетке // *Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и информ.* – 2022. – № 1 (254). – С. 19–27.

Н.Н. Тарасенко (Институт физики НАН Беларуси, г. Минск);
С.Т. Пашаян (Институт физических исследований НАН Армении, Армения);
А. В. Буцень (БГТУ, г. Минск);
В. Корнев, Н.В. Тарасенко (Институт физики НАН Беларуси, г. Минск)

ЛАЗЕРНО-АБЛЯЦИОННЫЙ СИНТЕЗ ОКСИДНЫХ НАНОСТРУКТУР МЕДИ В ЖИДКИХ СРЕДАХ

В последние годы большой научный и практический интерес представляют наноструктурные и нанокompозитные материалы, наночастицы оксидов переходных металлов и полупроводниковые металлы – оксидные наноструктуры, которые имеют широкий спектр применения в новейшей оптоэлектронной и лазерной технике, в устройстве солнечных элементов, сенсоров и детекторов, в биомедицине и катализе и т.д. [1-3]. Среди новых технологий получения наночастиц (НЧ) важными преимуществами обладает метод лазерной абляции в жидкости (ЛАЖ) [1,2]. Это универсальный метод, который может применяться как в случае металлов, так и полупроводников и диэлектриков различного состава. При этом метод ЛАЖ позволяет получать НЧ металлов и их оксидов в большинстве случаев. [2,3].

В настоящей работе методом двухимпульсной ЛАЖ твердых мишеней в различных жидкофазных средах без использования каких-либо поверхностно-активных веществ или стабилизаторов были получены НЧ меди (Cu) и ее оксида (CuO) при вариации параметров лазерного излучения и свойств жидкости.

Для проведения эксперимента использовался импульсный наносекундный $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ лазер (LOTIS II, LS 2134D, Беларусь), работающий в двухимпульсном режиме. Основные лазерные параметры были одинаковы для всех серий экспериментов: длина волны 1064 нм, энергия 80 мДж/импульс, длительность импульса 10 нс, частота повторения импульсов 10 Гц [2]. Задержку между сдвоенными импульсами устанавливали равной 10 мкс, при которой, как показали предыдущие исследования, происходит наиболее эффективная абляция и формирование коллоидного раствора с максимальной концентрацией НЧ. В качестве мишеней использовались металлическая медная пластина и прессованная керамическая мишень из порошка CuO (99,9 %). Абляцию мишеней проводили в течение 15 минут в дистиллированной воде, ацетоне и изопропиловом спирте. Плотность мощности лазерного излучения на поверхности мишени составляла 10^8 – 10^9 Вт/см². Морфология, размер и структура полученных НЧ и оса-

жденных пленок были проанализированы с использованием рентгеноструктурного анализа, сканирующей электронной (СЭМ), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), также абсорбционной (UV-vis) и рамановской спектроскопии.

На рис. 1 представлены ПЭМ-изображения полученных НЧ после ЛА в ацетоне. Анализ изображений показывает, что получены квазисферические НЧ меди и оксида меди со схожей морфологией во всех растворах. Размеры частиц лежат в интервале от 5 до 50 нм, хотя наблюдаются и небольшие агломерации с размерами в пределах от 50 до 100 нм.

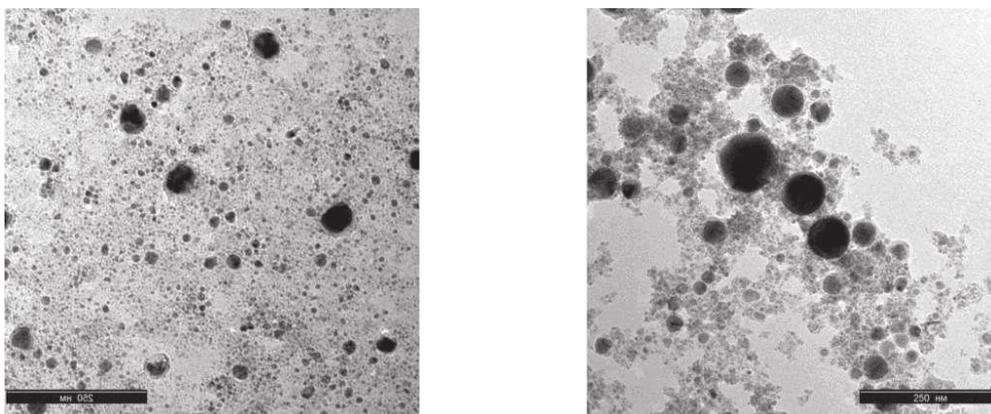


Рисунок 1 – ПЭМ-изображения НЧ Cu (слева) и CuO (справа), полученных ЛА мишеней в ацетоне

Как видно из приведенных на рис. 2 спектров поглощения, лазерная абляция в ацетоне приводит к формированию НЧ Cu, причем вид спектра практически не зависит от типа используемой исходной мишени (кривые 1 и 2).

Так, в обоих случаях наблюдается полоса с максимумом около 581 нм, что относится к полосе плазмонного поглощения НЧ Cu, связанного с коллективным возбуждением электронов проводимости металла. Изменение растворителя на дистиллированную воду позволяет формировать преимущественно оксидные НЧ (кривые 3 и 4). В зависимости от аблируемой мишени в спектрах коллоидных растворов, полученных при использовании медной мишени, отсутствует плазмонное поглощение частиц металлической меди, что позволяет сделать вывод, что НЧ меди в растворах после лазерного облучения отсутствуют. Однако при абляции мишени CuO в воде наблюдается слабая широкая полоса с максимумом около 633 нм (1,96 эВ), которая позволяет сделать вывод о формировании НЧ металлической меди наряду с оксидными наноструктурами.

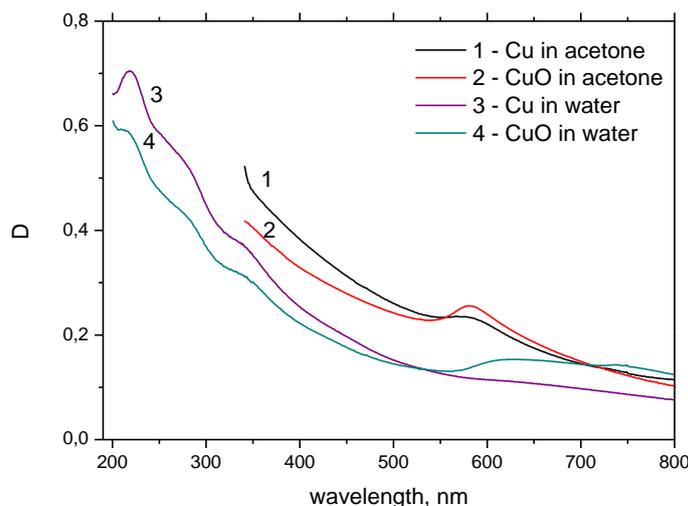


Рисунок 2 – Спектры поглощения НЧ, полученных ЛА медной мишени и мишени CuO в дистиллированной воде и ацетоне

Отметим, что после дополнительного лазерного облучения полученных коллоидов несфокусированным пучком второй гармоники (длина волны 532 нм) Nd:YAG-лазера во всех коллоидах наблюдалось полное исчезновение полосы поверхностного плазмона, свидетельствующее об окислении металлических частиц независимо от используемой мишени (Cu или CuO) и состава жидкости.

Таким образом, в данной работе исследованы структурные, морфологические и оптические характеристики сформированных путем лазерной абляции в жидкости наноразмерных частиц меди и ее оксида (II). Показано, что составом и морфологией наночастиц можно управлять, варьируя состав и свойства мишени и жидкой среды, в которой осуществляется синтез. Установлено, что лазерная абляция в ацетоне приводит к формированию НЧ металлической меди, изменение же растворителя на дистиллированную воду позволяет формировать преимущественно оксидные НЧ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zeng H., Du X. W., Singh S.C., Kulinich S. A., Yang S., He J., Cai W. Nanomaterials via laser ablation/irradiation in liquid: A review. – *Adv. Funct. Mat.* – 22 (2012) – P. 1333.
2. Tarasenko N.V., Butsen A.V. *Quant. Electron.* 40 (2010) 986–1003.
3. Tarasenko N.N., Butsen A.V., Tarasenko N.V., Pashayan S.T. *Armenia in focus SPIE: Optics-2016.* P. 91.

ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТРУКТУР МЕТАЛЛ/КРЕМНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ИОННО-АССИСТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ

На пластины кремния наносились покрытия на основе металла (Ti, Zr, Mo) методом ионно-ассистируемого осаждения в вакууме. Осаждение металлосодержащих покрытий осуществлялось при ускоряющем напряжении 5–10 кВ и плотности ионного тока $\sim(4-6)$ мкА/см². Время осаждения покрытий t составляло 1–6 ч, средняя скорость нанесения покрытия находилась в пределах 0,5–2,0 нм/мин. Отношение плотности потока J_i ассистирующих ионов к плотности потока J_a нейтральных атомов составляло $J_i / J_a = 0,2-0,6$, что соответствует условию роста покрытия на подложке. В процессе осаждения покрытий в рабочей камере поддерживался вакуум при давлении $\sim 10^{-2}$ Па.

Послойный элементный анализ проводился методом резерфордовского обратного рассеяния (РОР) ионов гелия в сочетании с компьютерным моделированием RUMP [1]. Определения содержания водорода в полученных Me/Si-структурах было проведено с помощью метода ядерных реакций (ЯР). Для этого использовалась резонансная ядерная реакция при взаимодействии ионов азота с водородом ${}^1\text{H}({}^{15}\text{N}, \alpha\gamma){}^{12}\text{C}$.

На рис. 1 представлены спектры РОР от кремниевого образца до и после осаждения покрытия на основе Zr.

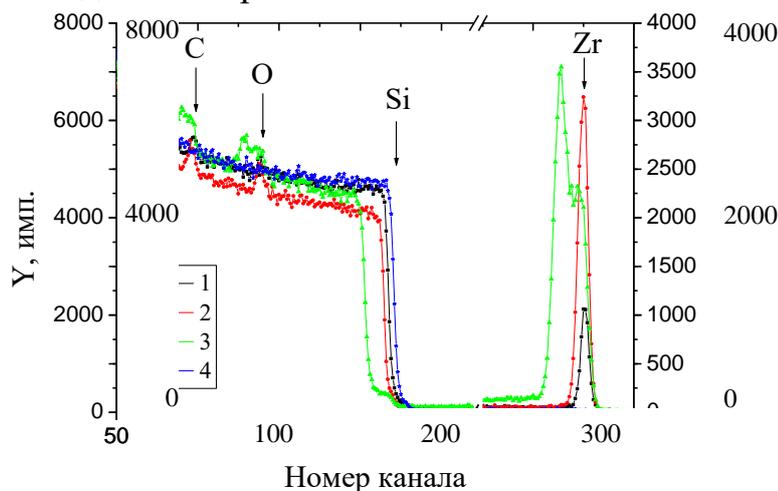


Рисунок 1 – Спектры РОР ионов гелия от образцов Si, после ионно-ассистируемого осаждения покрытия на основе Zr при различном времени осаждения t : 1 – 1 час; 2 – 3 часа; 3 – 6 часов; 4 – исходный образец Si

Анализ спектров РОР показал, что на поверхности кремния формируется покрытие, в состав которого входят помимо атомов осаждаемого металла, атомы технологических примесей углерода и кислорода [2]. На основе данных РОР были рассчитаны слоевые концентрации компонентов в структурах Zr/Si. Данные расчетов приведены в табл. 1.

Из экспериментальных данных видно, что сформированные Zr/Si-структуры содержат $\sim(4-6)\%$ атомов циркония, $\sim(60-70)\%$ атомов углерода и $\sim(25-35)\%$ атомов кислорода.

Таблица 1 – Слоеые концентрации компонентов в Zr/Si-структуре, рассчитанные по данным РОР

Образец	Время осаждения покрытия t , час	Слоеые концентрация (Nt), 10^{16} атом/см ²		
		C	O	Zr
Zr/Si	1	10,0	3,7	0,5
	3	22,2	8,8	2,0
	6	76,5	41,0	6,5

На рис. 2 представлены профили распределения элементов по глубине в Mo/Si-структуре, полученной моделированием RUMP на основе экспериментальных данных спектров РОР.

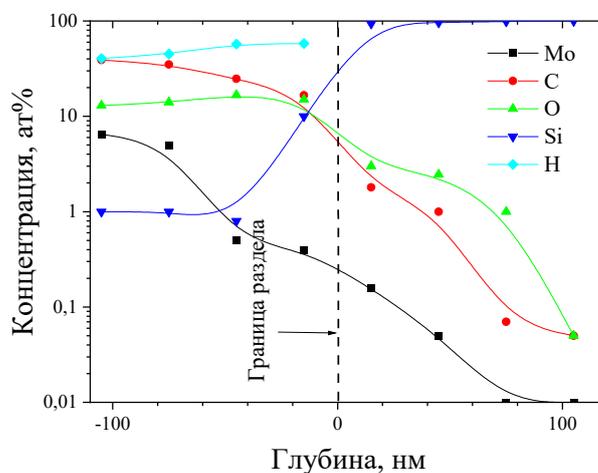


Рисунок 2 – Профили распределения элементов по глубине в Mo/Si-структуре

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что в состав сформированной структуры, помимо атомов осажденного металла (~ 5 ат. %), атомов кремния из подложки (10–15 ат. %), углерода (20–25 ат. %) и кислорода (10–15 ат. %) входят атомы водорода (30–40 ат. %).

Анализ данных спектров РОР и результатов моделирования RUMP структур Ti/Si, Mo/Si, Zr/Si показывает, что в состав сформированных покрытий входят атомы осажденного металла (~5–10 ат. %), атомы кремния из подложки (10–15 ат. %) и атомы технологических примесей: водорода (3–15 ат. %), углерода (20–25 ат. %) и кислорода (10–15 ат. %).

На рис. 3 представлен профиль распределения атомов водорода по глубине в Zr/Si-структуре, полученный методом ЯР.

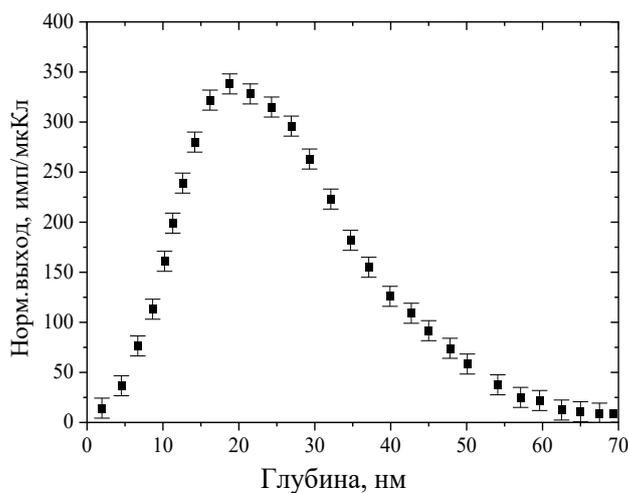


Рисунок 3 – Профиль распределение водорода по глубине в Zr/Si-структуре (время осаждения покрытия 1 час)

Результаты эксперимента с использованием ЯР подтверждают данные моделирования RUMP о наличии водорода в сформированных покрытиях. Толщина слоя, в котором обнаружены атомы водорода, соответствует толщине осажденного покрытия.

В исходных образцах кремния атомы водорода не были обнаружены. Это указывает на тот факт, что атомы водорода появляются в покрытии в процессе его осаждения. Источником водорода в покрытиях, как кислорода и углерода, также, на наш взгляд, является летучая фракция углеводородов вакуумного масла диффузионного паромасляного насоса. При последующих сканированиях поверхности анализирующим пучком ионов азота N^+ концентрация атомов водорода в приповерхностном слое уменьшается, а после 4-го или 5-го сканирования практически не изменяется (табл. 2). Слойная концентрация водорода становится равной согласно данным эксперимента: для Zr/Si-структуры $\sim 1,0 \cdot 10^{16}$ ат/см², для Ti/Si-структуры $\sim 1,4 \cdot 10^{17}$ ат/см² и для Mo/Si-структуры $\sim 1,6 \cdot 10^{17}$ ат/см².

Таблица 2 – Содержание водорода в приповерхностных слоях Zr/Si-структуре, (время нанесения покрытия $t = 1$ час)

Число сканирований	Глубина слоя, нм	n , ат/см ³	Nt , ат/см ²	C, ат. %
1	83,3	$2,10 \cdot 10^{21}$	$3,30 \cdot 10^{16}$	3,00
5		$5,73 \cdot 10^{20}$	$0,90 \cdot 10^{167}$	0,82

Уменьшение концентрации атомов водорода в приповерхностных слоях сформированных структур под воздействием анализирующего пучка ионов азота N^+ можно объяснить дегазацией атомов водорода и его соединений водорода, которые оказались химически слабо связаны с другими атомами покрытия.

Методом ионно-ассистируемого осаждения получены Ti/Si, Zr/Si и Mo/Si-структуры. Время осаждения покрытий составляло 1–6 ч при ускоряющем напряжении $U = 5–10$ кВ и плотности ионного тока $\sim 4–5$ мкА/см². В рабочей камере в процессе осаждения покрытий поддерживался вакуум при давлении $\sim 10^{-2}$ Па.

Исследования поверхности Me/Si-структур, полученных ионно-ассистируемым осаждением металлсодержащих покрытий, с применением методов резерфордовского обратного рассеяния ионов гелия в сочетании с моделированием RUMP и резонансных ядерных реакций, показали, что сформированные структуры содержат атомы осажденного металла ($\sim 5–10$ ат. %), атомы кремния из подложки (10–15 ат. %) и атомы технологических примесей: водорода (3–15 ат. %), углерода (20–25 ат. %) и кислорода (10–15 ат. %). Источником технологических примесей является летучая фракция углеводородов вакуумного масла диффузионного паромасляного насоса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Doolittle L. R. A semiautomatic algorithm for rutherford backscattering analysis // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. – 1986. – Vol. B15. – P. 227–234.
2. Тульев В. В., Ташлыков И. С. Изучение композиционного состава покрытий на основе Cr, Ti и Zr, сформированных на алюминии и кремнии методом ионно-ассистируемого нанесения в условиях саморадиации // Труды IV Междунар. науч. конф. «Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах». – Томск, 2004. – С. 92–95.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ АМГ2М И Д16 ОСАЖДЕНИЕМ ТИТАНА И МОЛИБДЕНА В УСЛОВИЯХ ИОННОГО АССИСТИРОВАНИЯ

Алюминиевые сплавы широко используются в качестве конструкционных материалов во многих отраслях промышленности, в том числе связанных с развитием энергосберегающих технологий. Структура и свойства поверхности алюминиевых сплавов определяют их функциональные и эксплуатационные характеристики, такие как износостойкость, коррозионная стойкость, микротвердость, смачивание поверхности. Для улучшения физико-механических и физико-химических свойств алюминиевых сплавов используются различные методы ионно-лучевой модификации. Применение ионных пучков вызывает в материале как химические [1], так и физические [2] изменения состояния поверхности, которая в ряде случаев обладает уникальными механическими, электрическими, трибологическими свойствами.

Целью данной работы являлось установление закономерностей смачивания дистиллированной водой поверхности алюминиевых сплавов марок АМг2М и Д16, а также исследование микротвердости поверхности сплава АМГ2М после их модифицирования осаждением Ti и Mo в условиях ассистирования ионами Ti⁺ и Mo⁺, соответственно. Ускоряющие напряжения для ассистирующих ионов Ti⁺ и Mo⁺ составляли 3, 6, 9, 12 и 15 кВ при модифицировании сплава АМГ2М и 5 и 10 кВ для ассистирующих ионов Ti⁺ при модифицировании сплава Д16. Для реализации этого метода осаждения покрытия использовался ионный источник, создающий плазму вакуумного электродугового разряда, в которой одновременно генерируются положительные ионы и нейтральная фракция из материала электродов источника ионов.

Смачивание дистиллированной водой определяли по равновесному краевому углу Θ смачивания (РКУС). Краевой угол определяли по основным размерам капель воды, наносимой на исследуемые образцы: высоте и диаметру ее основания. Для получения воспроизводимых результатов капли воды, наносимые на образцы, имели объем $V = (47,6 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$ мл. Погрешность в измерении РКУС составляла не более 2%. Измерение микротвердости образцов сплава алюминия, исходных и модифицированных, проведено на приборе АФ-

FRI–MVDM8 методом Виккерса.

Значение РКУС поверхности сплава марки Д16 до модифицирования составляло $\Theta = 53,3^\circ$. При внедрении сравнимых доз ионов титана в образцы сплава Д16 значения РКУС увеличиваются до значения $\Theta = 67,1^\circ$ после модифицирования при ускоряющем напряжении $U = 5$ кВ и до значения $\Theta = 92,9^\circ$ при $U = 10$ кВ для ассистирующих ионов Ti^+ . Таким образом до модифицирования поверхность сплава Д16 и после модифицирования при ускоряющем напряжении $U = 5$ кВ была гидрофильной, а после модифицирования при ускоряющем напряжении $U = 10$ кВ поверхность сплава становится гидрофобной.

Значение краевого угла смачивания поверхности сплава алюминия марки АМг2М увеличивается при повышении ускоряющего напряжения для ассистирующих ионов Ti^+ при осаждении титана на поверхность сплава. Причем поверхность остается гидрофильной при всех значениях ускоряющего напряжения. По всей видимости, это связано с гетерогенностью поверхности, которая обусловлена различием в кристаллической структуре и химическом составе исходных и модифицированных в разных условиях образцов алюминиевого сплава АМг2М.

При внедрении сравнимых доз ионов молибдена в образцы сплава марки АМг2М с увеличением ускоряющего напряжения значения РКУС также увеличиваются (рис. 1). Исходная поверхность сплава была гидрофильной ($\Theta = 64,8^\circ$) и оставалась гидрофильной после модифицирования при $U = 3$ и 6 кВ. После модифицирования сплава при $U = 9, 12, 15$ кВ для ассистирующих ионов Mo^+ поверхность стала гидрофобной и значение РКУС увеличилось до $\Theta = 98,1^\circ$ при 15 кВ.

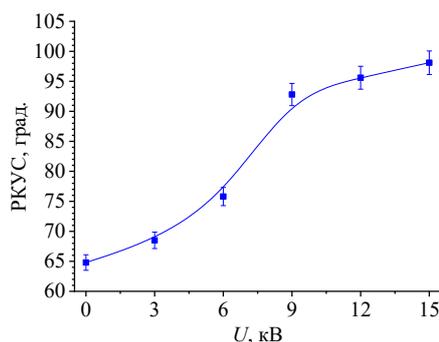


Рисунок 1 – Зависимость краевого угла смачивания дистиллированной водой поверхности сплава АМг2М от ускоряющего напряжения для ассистирующих ионов Mo^+

При измерении чисел микротвердости, чтобы исключить влияние масштабного эффекта, относительное изменение микротвердости

$\Delta H/H_{исх}$ модифицированных образцов сплава алюминия определялось для одинаковых глубин проникновения индентора микротвердомера. Нагрузка на индентор менялась в интервале от 10 до 100 г, что соответствовало изменению глубины проникновения индентора от $2,2 \pm 0,1$ до $7,5 \pm 0,3$ мкм. Полученные экспериментальные данные изменения микротвердости с увеличением глубины проникновения индентора для сплава алюминия марки АМг2М, модифицированного ионно-ассистируемым осаждением Мо покрытий, представлены на рис. 2.

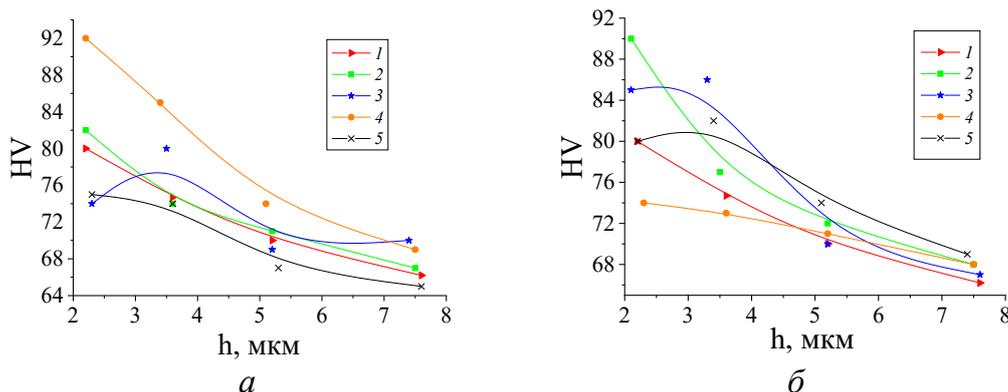


Рисунок 2 – Графики зависимости микротвердости поверхности сплава алюминия марки АМг2М от глубины проникновения индентора исходного образца (1) и модифицированных образцов ионно-ассистируемым осаждением Мо покрытий (а) и Тi покрытий (б) при ускоряющих напряжениях: 2 – 3 кВ, 3 – 6 кВ, 4 – 9 кВ, 5 – 12 кВ.

Приведенные результаты на рис. 2 свидетельствуют о том, что, при нагрузках на индентор 50 и 100 г относительное изменение микротвердости сплава алюминия лежит в пределах погрешности измерений чисел микротвердости. Увеличение относительного изменения микротвердости на 14–15% наблюдается при осаждении Мо покрытий при ускоряющем напряжении 9 кВ и уменьшение на 8% ($U = 6$ кВ) при малых нагрузках (10 и 25 г) на индентор микротвердомера.

Изменение микротвердости поверхности сплава алюминия марки АМг2М при ионно-ассистируемом осаждении покрытий обусловлено, по-видимому, конкуренцией двух механизмов. Один механизм – это формирование на поверхности сплава алюминия слоев с повышенными прочностными свойствами. Причинами увеличения микротвердости, как известно, является образование в приповерхностных областях карбидов металлов и структурных дефектов, формируемых при ионно-лучевом воздействии, а также твердорастворное упрочнение, обусловленное присутствием атомов легирующих элементов в алюминии. Второй механизм связан с разупрочнением приповерхностных слоев полученных структур.

При осаждении покрытий в приповерхностных слоях сформированных структур содержится водород. Нами ранее были проведены исследования методом ядерных реакций [3], которые установили что в покрытиях, полученных ионно-ассистируемым осаждением содержится ~6–10 ат.% водорода, что приводит к уменьшению прочности поверхности образца.

Полученные результаты указывают на возможность управления смачиваемостью и микротвердостью поверхности путем изменения ускоряющего напряжения для ассистирующих осаждение покрытия ионов Ti^+ и Mo^+ и их дозы при модифицировании сплава алюминия марок АМг2М и Д16. В результате проведенных исследований установлено, что на смачиваемость поверхности влияют условия осаждения покрытия и химический состав модифицированной поверхности. Исходная поверхность сплава марок АМг2М и Д16 была гидрофильной и оставалась гидрофильной после модифицирования при значениях ускоряющего напряжения $U = 3, 5$ и 6 кВ для ассистирующих ионов Ti^+ и Mo^+ . Увеличение ускоряющего напряжения для ассистирующих ионов Ti^+ до 10 кВ при модифицировании сплава Д16 и для ассистирующих ионов Mo^+ до 9 кВ и выше при модифицировании сплава АМг2М привело к тому, что поверхность сплава марок АМг2М и Д16 стала гидрофобной. Относительное изменение микротвердости модифицированных образцов увеличивается на 15% ($U = 9$ кВ) и уменьшаются на 8% ($U = 6$ кВ) при малых нагрузках (10 г) на индентор микротвердомера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Poplavskaya V.V., Babrovich A.G., Dorozhko A.V. and Matys V.G. Surface Modification of Nafion Membrane Electrolyte by the Ion-Beam-Assisted Deposition of Platinum and Rare-Earth Metals / Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2022, Vol. 16, No. 5, pp. 727–733.

2. Бобрович О.Г., Ташлыков И.С., Тульев В.В. Влияние параметров ионно-ассистируемого осаждения на формирование Me/Si структур // Труды БГТУ. – 2014. – № 6: Физ.-мат. науки и информатика. – С. 74–76.

3. Изучение ядерно-физическими методами металлосодержащих (Ti, Co)-покрытий, осажденных методом ионного ассистирования на кремний / О. Г. Бобрович [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2006. – № 1. – С. 54–58.

УДК 621.793:539.234:539.534.9

В.В. Поплавский, доц.; О.Г. Бобрович, доц.;
А.В. Дорожко, доц.; В.Г. Матыс, доц.
(БГТУ, г. Минск)

МИКРОСТРУКТУРА И СОСТАВ СЛОЕВ, ФОРМИРУЕМЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ И СПЛАВА Д16Т В ПРОЦЕССЕ ИОННО-АССИСТИРУЕМОГО ОСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Вследствие образования на поверхности алюминия и его сплавов оксидной пленки в атмосферных условиях материалы обладают химической инертностью и могут, в частности, применяться в качестве основы электрокатализаторов. Для достижения необходимых свойств требуется модифицирование поверхности материалов путем формирования каталитически активных и коррозионностойких слоев, что может быть обеспечено легированием поверхности материалов ускоренными ионами металлов [1].

Цель данной работы – исследование микроструктуры и состава слоев, формируемых на поверхности алюминия и алюминиевого сплава в процессе ионно-ассистируемого осаждения металлов из плазмы вакуумного дугового разряда. В качестве подложек использовали образцы из чистого алюминия марки А7 и алюминиевого сплава Д16Т. Основу сплава Д16Т, который относится к группе Al-Cu-Mg с легированием марганцем, составляет алюминий, концентрация которого доходит до 94,7%. Остальная часть массы приходится на магний (1,2–1,8 %), медь (3,8–4,9 %), марганец (0,3–0,9 %) и другие примеси [2]. Слои формировали в процессе ионно-ассистируемого осаждения ряда металлов в режиме, при котором в качестве ассистирующих процессу осаждения используются ионы осаждаемого металла. Осаждение металла и перемешивание осаждаемого слоя с поверхностным слоем подложки ускоренными ($U = 10$ кВ) ионами того же металла проводили в экспериментальной установке, соответственно, из нейтральной фракции пара и плазмы вакуумного ($\sim 10^{-2}$ Па) дугового разряда импульсного электродугового ионного источника. Ионно-лучевое легирование поверхности материалов проводили осаждением переходных металлов (Cr, Zr, Zn, Cd, Er и др.) с целью изменения коррозионных свойств и платины [1] для достижения каталитической активности.

Микроструктуру и состав поверхности образцов исследовали методом сканирующей электронной микроскопии совместно с рентгеновским энергодисперсионным микроанализом, а также с примени-

ем спектрометрии резерфордского рассеяния. Типичные результаты исследований на примере системы Zn/Д16Т приведены на рис. 1, 2.

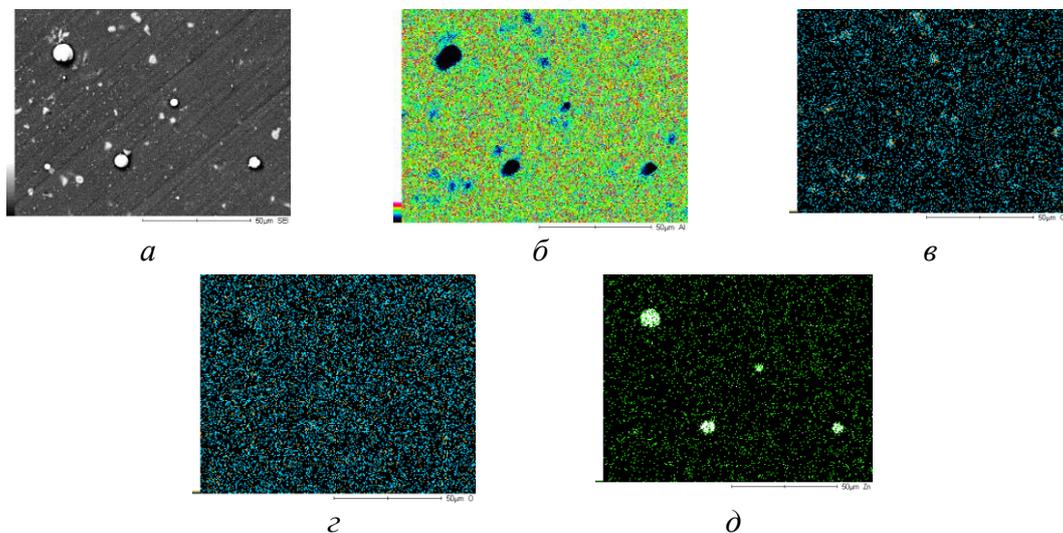


Рисунок 1 – Электронно-микроскопическое изображение (а) участка поверхности сплава Д16Т со слоем, сформированным ионно-ассистируемым осаждением цинка, и карты распределения по поверхности алюминия (б), меди (в), кислорода (г) и цинка (д)

Морфология слоев не претерпевает изменений в процессе ионно-лучевой обработки (рис. 1а). По данным энергодисперсионного анализа в состав исследуемых слоев входят осажденные металлы, компоненты материала подложки (алюминий и кислород, а в случае сплава Д16Т дополнительно медь и магний), а также углерод. Кислород входит в состав поверхностной оксидной пленки, углерод – в состав углеводородных загрязнений. Распределение атомов элементов по поверхности практически однородно за исключением кластеров осажденного металла размером порядка нескольких микрометров, наличие которых обусловлено осаждением капель из электродугового ионного источника (рис. 1). Содержание осажденных металлов невелико и составляет по данным энергодисперсионного анализа несколько процентов.

Исследование слоев методом спектрометрии резерфордского рассеяния подтверждает сведения об их элементном составе, а также дает информацию о распределении элементов в них по глубине, их слоевом содержании. В частности, в слое, сформированном на поверхности сплава Д16Т осаждением цинка, содержание атомов этого металла составляет $\sim 5 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ (рис. 2). Слоевоe содержание атомов других осаждаемых на поверхность алюминия и алюминиевого сплава металлов составляет $\sim (0,5-5) \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$, атомов углерода – $\sim (5-7) \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$, кислорода – $\sim (1-2) \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$.

Толщина формируемых слоев зависит от времени осаждения,

содержания осажденного металла и составляет $\sim(10-50)$ нм.

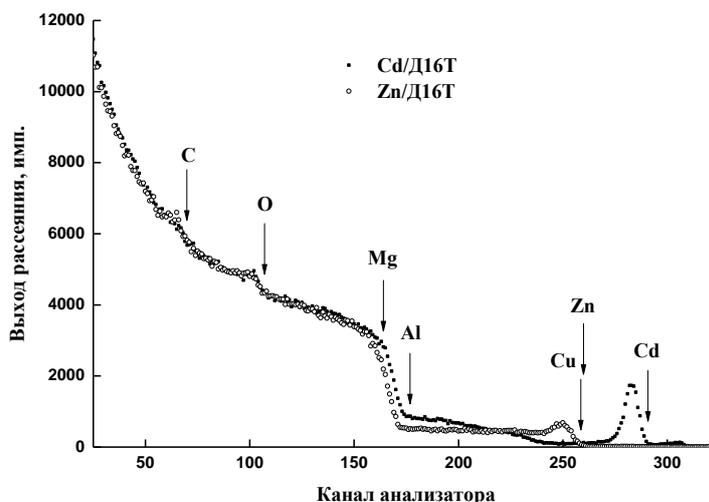


Рисунок 2 – Спектры резерфордовского рассеяния ионов ^4He на ядрах атомов элементов, входящих в состав слоев, сформированных на сплаве Д16Т ионно-ассистированным осаждением кадмия, цинка

Анализ расположения сигналов рассеяния в спектрах (рис. 2) от поверхности образцов свидетельствует о том, что атомы компонентов подложки (Al, Mg, Cu) не выходят на поверхность и исследуемые слои формируются в основном в оксидной пленке на поверхности.

Таким образом, в процессе ионно-ассистированного осаждения металлов из плазмы вакуумного дугового разряда на поверхность алюминия и алюминиевого сплава формируются многокомпонентные аморфные слои, включающие осажденный металл, компоненты подложки, в т.ч. кислород оксидной пленки, и примеси углеводородов. Распределены осажденные металлы в приповерхностном слое толщиной до 50 нм, содержащем значительное количество кислорода.

При осаждении на поверхность исследуемых материалов переходных металлов, обладающих геттерными свойствами, имеют место захват значительного количества газов из остаточной атмосферы вакуумной рабочей камеры и включение их в состав формируемого слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Poplavsky V.V., Mishchenko T.S., Matys V.G. Composition and Electrocatalytic Properties of the Coatings Formed by the Ion-Beam-Assisted Deposition of Platinum from a Pulsed Arc-Discharge Plasma onto Aluminium // Techn. Phys. – 2010. – Vol. 55. – No. 2. – P. 296–302.

2. ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы алюминия деформируемые. Марки [Текст]. – Введ. 1997-11-21. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 21 с.

ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВОГО СОСТАВА СЛОЕВ, ФОРМИРУЕМЫХ ПРИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОМ АЗОТИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ ТИТАНА

Сплавы титана обладают уникальными свойствами, благодаря сочетанию низкой плотности, высокой прочности и жесткости, ударной вязкости. Вместе с тем низкая твердость поверхности и недостаточная износостойкость ограничивает использование материалов в узлах и деталях, функционирующих в условиях контактного взаимодействия, что требует модифицирования поверхности с целью улучшения механических свойств материалов. Вследствие химической инертности титановые сплавы используются для изготовления стойких к коррозии изделий, эксплуатируемых в условиях, при которых нежелательно разрушение материала и попадание его атомов в рабочую среду. Основными направлениями такого применения являются изготовление электродов электрохимических устройств и имплантатов в ортопедии и стоматологии.

Для достижения требуемых характеристик сплавов титана проводится обработка поверхности изделий, в том числе ионно-плазменное азотирование. Титан может быть азотирован в широком диапазоне температур, приблизительно от 620 °С до 1100 °С. Нижняя граница этого диапазона определяется скоростью диффузии азота, необходимой для получения слоев достаточной толщины. Верхний диапазон ограничен значительными фазовыми превращениями и ростом зерен в титановых сплавах. При температурах до 882,5 °С устойчива низкотемпературная α -модификация титана с гексагональной плотноупакованной решеткой, при более высоких температурах, вплоть до плавления, существует высокотемпературная β -модификация с объемно-центрированной кубической решеткой.

Цель данной работы: изучение особенностей образования фаз при ионно-плазменной обработке поверхности сплавов титана в азотсодержащей среде в зависимости от температуры и длительности процесса. Ионно-плазменному азотированию подвергались сплавы титана: ВТ1-0 и ОТ4-1. Сплав ВТ1-0 не содержит в своем составе легирующие элементы, только незначительное количество примесей. Его структура представлена α -фазой. Сплав ОТ4-1 в качестве легирующих элементов содержит алюминий и марганец и относится к псев-

до- α -сплавам, структура которых представлена в основном α -фазой и небольшим (не более 5%) количеством β -фазы.

Проведены систематические исследования особенностей формирования фаз при ионно-плазменной обработке сплавов при различных температурах в интервале от 650 °С до 900 °С в течение 5 ч (сплав ВТ1-0) и при $T = 850$ °С и различной (от одного до семи часов) длительности процесса (сплав ОТ4-1). Ионно-плазменную обработку поверхности образцов проводили на установке ионно-плазменного азотирования ФТИ НАН Беларуси. Состав рабочей газовой смеси: 10% N_2 + 90% Ar. Давление газа в рабочей камере составляло 160 Па; напряжение, поддерживающее тлеющий разряд, – 400 В. Разогрев образцов осуществляли в атмосфере аргона. Значительное содержание аргона в составе рабочей среды способствует удалению вследствие ионного распыления оксидной пленки с поверхности сплавов в процессе ионно-плазменного азотирования.

Анализ элементного состава формируемых слоев проведен методом энергодисперсионного микроанализа. Рентгенофазовый анализ слоев производился с применением дифрактометров ДРОН-3 и D8 Advance Bruker AXS. В качестве анализирующего использовалось CuK_{α} -излучение. Обработка полученных дифрактограмм осуществлялась с применением программного пакета Match! – Phase Analysis using Powder Diffraction – Version 3. По данным энергодисперсионного анализа в состав исследуемых слоев входят титан, азот, а также углерод, кислород, аргон и алюминий. Кислород входит в состав поверхностной оксидной пленки, углерод – в состав углеводородных загрязнений.

По данным рентгенофазового анализа (рис. 1) в исходном образце сплава ОТ4-1 обнаруживается только α -фаза титана. Ионно-плазменная обработка поверхности при температуре 850 °С в течение уже одного часа приводит к существенному изменению фазового состава. Фаза титана в составе исследуемого слоя не обнаруживается. Основу слоя составляет оксид титана Ti_6O и карбонитрид состава Ti_2CN . Возможно также наличие в незначительных количествах нитрида титана состава $TiN_{0,26}$ и алюминида титана $AlTi$. При увеличении длительности ионно-плазменной обработки фазовый состав формируемых слоев изменяется. После трех часов обработки при $T = 850$ °С в составе обнаруживаются оксиды титана Ti_6O и Ti_3O . После пятичасовой обработки в плазме в состав слоя в основном входит оксид Ti_6O , а также в незначительном количестве нитрид титана TiN . После семи часов ионно-плазменного азотирования основу полученного слоя составляют оксид титана Ti_6O и нитрид TiN . Возможно также наличие

оксида Ti_3O , нестехиометрических нитридов титана $TiN_{0.9}$ и $Ti_{0.76}N$, карбонитрида титана состава $TiC_{0.2}N_{0.8}$. Похожие результаты (рис. 2) получены при рентгенофазовом анализе образцов сплава ВТ1-0, подвергнутых ионно-плазменной обработке в таких же условиях при различных температурах (650 °С, 700 °С, 750 °С, 800 °С, 850 °С и 900 °С) на протяжении пяти часов.

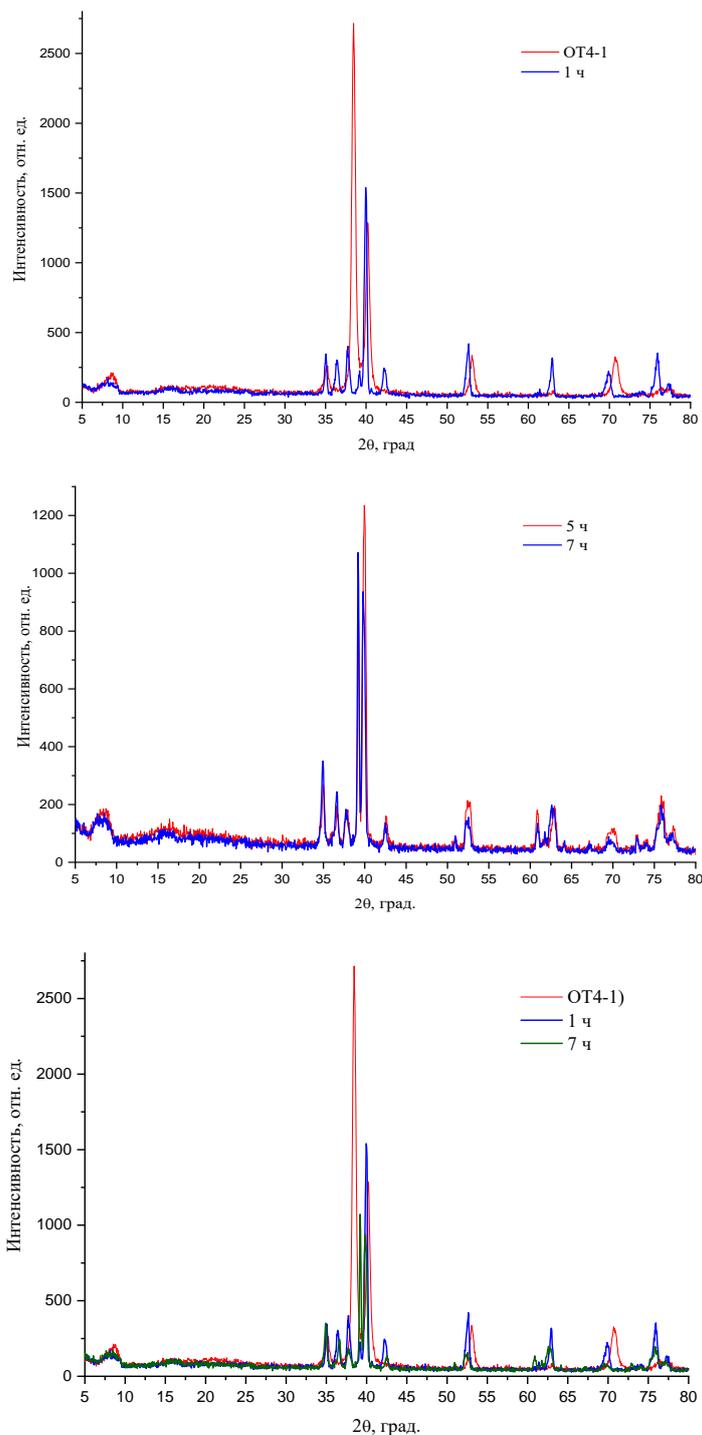
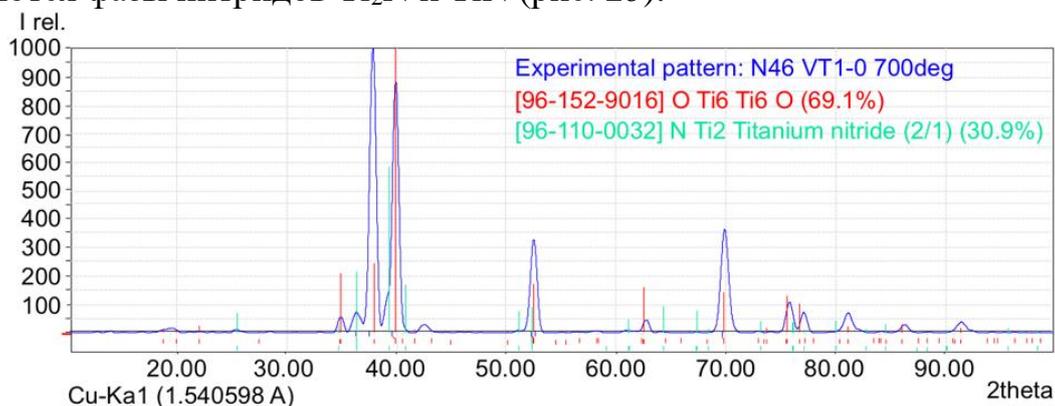
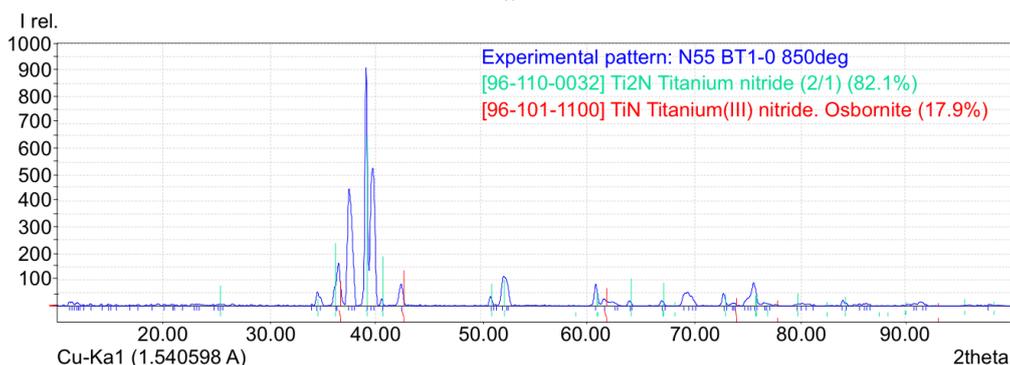


Рисунок 1 – Дифрактограммы исходного образца сплава ОТ4-1 и образцов, подвергнутых ионно-плазменной обработке при $T = 850$ °С в течение 1, 5 и 7 ч

При не очень высоких температурах (примерно до 700 °С) в составе слоев преобладают оксидные фазы Ti_6O и Ti_3O . И только при повышении температуры обработки до (800–900) °С возрастает диффузионная подвижность атомов азота и начинает преобладать процесс образования нитридных фаз, в составе формируемых слоев обнаруживаются фазы нитридов Ti_2N и TiN (рис. 2б).



a



б

Рисунок 2 – Дифрактограммы образцов сплава VT1-0, подвергнутых ионно-плазменной обработке в течение 5 ч при различных температурах *a* – 700 °С; *б* – 850 °С

Установленные особенности фазового состава слоев, формируемых на поверхности сплавов титана в процессе ионно-плазменной обработки в азотсодержащей среде, обусловлены свойствами титана и наличием на поверхности оксидной пленки. При обработке в среде, содержащей значительное количество аргона, интенсивного образования на поверхности оксидной пленки, препятствующей процессу азотирования, скорее всего, нет. Однако имеющийся в составе исходной пленки кислород вступает во взаимодействие с атомами титана и при не очень высокой температуре и начальных стадиях взаимодействия плазмы с подложкой образуются преимущественно оксиды титана. При увеличении температуры обработки, а также длительности процесса начинают формироваться нитриды титана.

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ФОТОПРОВОДИМОСТИ ФТАЛОЦИАНИНА СВИНЦА НА ОСНОВЕ ДВУХУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ ПРЫЖКОВОЙ ПРОВОДИМОСТИ

В электронике при разработке газовых сенсоров, солнечных батарей, светоизлучающих диодов применяются пленки фталоцианинов, на проводимость и фотопроводимость которых существенное влияние оказывает адсорбированный атмосферный кислород [1, 2]. Двухуровневая модель прыжковой проводимости [3] хорошо себя зарекомендовала для объяснения адсорбционно-резистивных свойств пленок фталоцианинов и периленовых пигментов. Цель данной работы – используя метод циклической термодесорбции в сочетании с двухуровневой моделью прыжковой проводимости, произвести анализ температурных зависимостей фотопроводимости пленок фталоцианина свинца, установить механизм влияния адсорбированного кислорода на процессы электропереноса и выявить вклад собственных и примесных центров локализации в фотопроводимость этих пленок.

Пленки фталоцианина свинца (PbPc) толщиной 100 нм были получены методом лазерного распыления в вакууме. Для этого в вакууме 10^{-2} Па инфракрасным CO₂-лазером с плотностью потока излучения 30-40 Вт/см² и длиной волны 10,6 мкм испарялась порошкообразная мишень PbPc и образующиеся продукты распыления осаждались на подложки из поликора со встречно-штыревой системой электродов. Скорость осаждения поддерживалась на уровне порядка 1 нм/с. В процессе осаждения температура подложек была комнатной. Методами сканирующей зондовой микроскопии было установлено, что полученные таким образом пленки PbPc имеют поликристаллическую структуру с характерным размером зерен около 50 нм.

При исследовании фотопроводимости поверхность пленок освещалась красным светодиодом с длиной волны 660 нм, что соответствует области собственного поглощения PbPc. Энергетическая освещенность поверхности пленок в процессе измерений фотопроводимости составляла 400 Вт/м². Результаты измерения фотопроводимости пленок PbPc, представленные на рис. 1, показывают взаимосвязь между энергией активации фотопроводимости E_a и предэкспоненциальным множителем σ_0 . В ходе десорбции кислорода сначала на участке A–B происходит уменьшение предэкспоненциального множи-

$$E_{a1} = \frac{0,99e^2 n_1^{1/3}}{4\pi\epsilon_0\epsilon}, \quad E_{a2} = \frac{0,99e^2 n_2^{1/3}}{4\pi\epsilon_0\epsilon}, \quad (4)$$

где e – элементарный заряд; ϵ_0 – электрическая постоянная, ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость.

Электроперенос по фотовозбужденным центрам локализации также является прыжковым, в связи с чем удельные проводимости σ_{f1} и σ_{f2} по фотовозбужденным центрам локализации определяются выражениями аналогичными (3)

$$\sigma_{f1} = (\sigma_{03})_1 \exp\left(-\frac{\alpha}{a_{f1}n_{f1}^{1/3}} - \frac{E_{f1}}{kT}\right), \quad \sigma_{f2} = (\sigma_{03})_2 \exp\left(-\frac{\alpha}{a_{f2}n_{f2}^{1/3}} - \frac{E_{f2}}{kT}\right), \quad (5)$$

где a_{f1} , a_{f2} – радиусы фотовозбужденных собственных и примесных центров локализации, соответственно; E_{f1} , E_{f2} – энергии активации фотопроводимости по собственным и примесным фотовозбужденным центрам локализации.

Учитывая, что на рис. 1 на участке $A-B$ при снижающейся концентрации адсорбированного кислорода, измеренная энергия активации проводимости остается постоянной при уменьшающемся предэкспоненциальном множителе G_0 , можно сделать вывод, что проводимость на этом участке обусловлена примесными фотовозбужденными центрами локализации с постоянной не зависящей от концентрации центров n_{f2} энергией активации E_{f2} , равной 0,645 эВ. Исходя из этого экспериментального факта, в предложенной двухуровневой модели прыжковой проводимости, учитывающей фотовозбуждение, энергия активации фотопроводимости считается постоянной величиной, не зависящей от концентрации центров локализации.

Общая проводимость пленки рассчитывается как сумма проводимостей по всем четырем типам центров локализации

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_{f1} + \sigma_{f2}. \quad (6)$$

Наблюдаемая в эксперименте энергия активации проводимости будет определяться выражением

$$E_a = \frac{E_{a1}\sigma_1 + E_{a2}\sigma_2 + E_{f1}\sigma_{f1} + E_{f2}\sigma_{f2}}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_{f1} + \sigma_{f2}}. \quad (7)$$

Величина предэкспоненциального множителя температурной зависимости проводимости рассчитывается в соответствии с выражением

$$\sigma_0 = \sigma \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right). \quad (8)$$

На рис. 2 представлены в сравнении с экспериментальными данными результаты расчета проводимости пленки фталоцианина

свинца при фотовозбуждении в зависимости от доли примесных центров локализации x . Сплошной линией отображаются результаты моделирования, полученные на основе описанной выше двухуровневой модели прыжковой проводимости. Наилучшего соответствия экспериментальных данных и результатов расчета удалось достичь при следующих параметрах модели: $n = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ м}^{-3}$, $f = 0,02$; $E_{f2} = 0,645 \text{ эВ}$; $a_1 = a_{f1} = 0,22 \text{ нм}$; $a_2 = a_{f2} = 0,52 \text{ нм}$. Из рисунка видно, что на участке $A-B$ электроперенос обеспечивается системой фотовозбужденных примесных центров локализации, на участке $B-C$ – системой примесных центров без фотовозбуждения, а участок $C-D$ является переходным, когда в электропереносе одновременно участвуют два вышеупомянутых типа центров локализации. Расчеты показывают, что собственные центры локализации участия в проводимости не принимают. Это можно объяснить тем, что эффективность фотовозбуждения собственных центров локализации гораздо ниже, чем примесных.

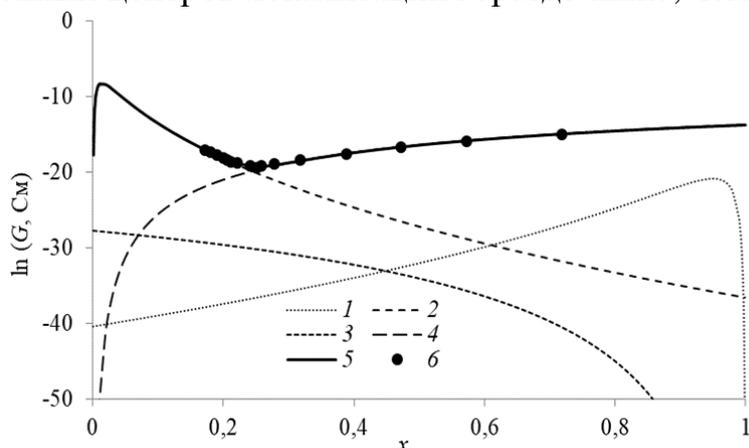


Рисунок 2 – Результаты расчета проводимости пленки РbРс в зависимости от доли примесных центров локализации x :

- 1 – по собственным центрам локализации без фотовозбуждения,
- 2 – по примесным центрам локализации без фотовозбуждения,
- 3 – по фотовозбужденным собственным центрам локализации,
- 4 – по фотовозбужденным примесным центрам локализации,
- 5 – общая проводимость по всем центрам локализации,
- 6 – экспериментальные данные

ЛИТЕРАТУРА

1. Симон, Ж. Молекулярные полупроводники / Ж. Симон, Ж.-Ж. Андре – М.: Мир, 1988. – 342 с.
2. Fabrication and Characterization of Phthalocyanine-Based Organic Solar Cells / M. Iwase, A. Suzuki, T. Akiyama, T. Oku // Materials Sciences and Applications. – Vol. 5, Issue 5. – 2014. – P. 278–284.
3. Почтенный, А. Е. Влияние адсорбированного кислорода на проводимость пленок фталоцианина свинца / А. Е. Почтенный, А.В. Мисевич // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29, № 1. – С. 56–61.

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО
ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ
ПОВЕРХНОСТНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ
В ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

Определение интенсивности процессов рекомбинации на поверхности полупроводника является одной из основных задач при создании электронных приборов на основе микро- и нано структур. Для изучения поверхностной рекомбинации обычно применяется импульсная ионизация полупроводника монохроматическим излучением с последующей регистрацией отраженной от этой поверхности СВЧ-волны. Разделение объемного и поверхностного процессов рекомбинации обеспечивается на основе значительного различия их скоростей [1, 2]. Разработан также бесконтактный, неразрушающий метод измерений рекомбинационных параметров в пластинах Si на основе анализа кинетики релаксации избыточного теплового излучения пластины за краем собственного поглощения Si [3]. В данной работе предлагается оценивать скорость поверхностной рекомбинации в n-Si в стационарном режиме по измеренным значениям интенсивности фотовозбуждающего источника и концентрации носителей заряда в приповерхностной области полупроводникового слоя. Для фотовозбуждения кремниевой пластины n-Si с толщиной 0,5 мм применялось излучение лазерного диода. Концентрация носителей в приповерхностной облучаемой области полупроводниковой пластины определялась по резонансным частоте магнитоплазменного поглощения зондирующего излучения миллиметрового диапазона, при которой наблюдается минимальное пропускание. Показано, что данная частота включает в себя плазменную и циклотронную составляющие. Резонанс достигался с путем изменения индукция поперечного магнитного поля в области образца на фиксированной частоте зондирования. Значение скорости поверхностной рекомбинации, рассчитанное с использованием резонансных значений частоты и магнитной индукции и, составляет 25 м/с, что находится в удовлетворительном соответствии с известными данными. Предлагаемая методика не требует использования данных о коэффициенте диффузии и объемном времени жизни носителей и может быть полезной для определения скорости поверхностной рекомбинации с использованием излучений миллиметрового диапазона.

Для интерпретации результатов измерений требуется использование дополнительных данных о коэффициентах переноса носите-

лей и динамике рекомбинации. В данной работе предлагается оценивать скорость поверхностной рекомбинации S в стационарном режиме по измеренным значениям интенсивности фотовозбуждающего источника и концентрации неравновесных носителей.

Если известна избыточная концентрация Δn_s носителей заряда в приповерхностной области образца, то скорость поверхностной рекомбинации S можно оценить по формуле

$$S = \frac{q_s}{n_s} = \frac{I_s(1-R)}{hv\Delta n_s}, \quad (1)$$

где q_s ($\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$) – поверхностная плотность избыточных носителей заряда, образующихся за 1 с в результате фотовозбуждения; I_s – интенсивность источника; R – коэффициент отражения фотовозбуждающего излучения от образца, ν – его частота.

При облучении образца источником возрастают проводимость и диэлектрическая проницаемость в приповерхностной области образца, которые зависят от концентрации носителей. В результате изменяются коэффициенты отражения и, соответственно, пропускания зондирующего излучения. Для определения приповерхностной концентрации n_s использовалась зависимость коэффициента пропускания от частоты. На частоте зондирования, равной плазменной ω_p , пропускание достигает минимума. При уровне концентраций неравновесных носителей $\sim 10^{19}-10^{21} \text{ м}^{-3}$ плазменная частота находится в диапазоне зондирования 10-100 ГГц. Концентрацию носителей заряда в приповерхностной области образца можно определить по частоте, соответствующей минимальному пропусканию зондирующего СВЧ – излучения

Для измерений была выбрана конфигурация с магнитным полем, направленным поперек направления распространения зондирующей волны. При использовании такой геометрии в области образца может создаваться гораздо более сильное магнитное поле, чем при параллельном направлении поля и волны.

Из уравнения для проекций напряженности электрического поля волны следует выражение для диэлектрической проницаемости полупроводника через характерные частоты [4]:

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_s} = 1 + \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^2 \left(1 + \frac{\omega_c^2}{\omega^2 - \omega_p^2 - \omega_c^2} \right), \quad (2)$$

где $\omega_p = \sqrt{\frac{ne^2}{\varepsilon_s \varepsilon_0 m^*}}$ – плазменная частота; ε_s – диэлектрическая проницаемость в постоянном поле; n – концентрация носителей заряда в полупроводнике.

Из (2) следует, что минимальное пропускание полупроводникового образца соответствует резонансной частоте:

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_p^2 + \omega_c^2}, \quad (3)$$

которая зависит от концентрации носителей и от магнитной индукции.

Из уравнения (3) следует формула для концентрации в приповерхностной (облучаемой) области образца:

$$\omega_0^2 = \omega_c^2 + \frac{ne^2}{\varepsilon\varepsilon_0 m^*}, \quad (4)$$

где $\omega_c = (eB_0/m^*)$ – циклотронная частота; B_0 – индукция магнитного поля, при которой наблюдается минимальное пропускание.

Образец в виде квадратной пластинки n-Si со стороной 8 мм помещался в зазор электромагнита. Толщина пластинки 0,5 мм. Для фотовозбуждения кремниевой пластины n-Si применялось излучение лазерного диода с длиной волны 0,96 мкм (мощность ~ 4 мВт). Магнитное поле в области образца, направленное перпендикулярно ионизирующему и зондирующему излучению, создавалось электромагнитом, обмотка которого питалась от регулируемого источника постоянного тока. Индукция магнитного поля могла изменяться до 0,9 Тл.

Для зондирования использовалось излучение от генератора Г4-142. Сигнал, пропорциональный мощности прошедшего через образец зондирующего излучения, регистрировался полупроводниковой термопарой, подключенной к микровольтметру Ф136 с предельной чувствительностью 100 нВ/дел. Измерения сигнала с проводились в диапазоне частот 65–75 ГГц. На каждой из зондирующих частот магнитное поле в области образца изменялось в пределах от 0,4 до 0,9 Тл. Магнитоплазменный резонанс достигался путем изменения магнитной индукции с шагом 0,05 Тл на фиксированной частоте генератора.

На рис. 2 представлена характерная зависимость коэффициента пропускания зондирующего излучения от магнитной индукции на частоте 67 ГГц. Минимум отражения зондирующего излучения для данного образца наблюдался в области частот 65–69 ГГц (рабочий диапазон частот генератора 54–79 ГГц).

Установлено, что зависимость частоты, соответствующей минимальному пропусканию зондирующего излучения, от B_0 является линейной, что соответствует расчетной зависимости (3). Экстраполяция этой зависимости на значение $B = 0$ дает значение частоты $\omega_0 = 65,4$ ГГц. С использованием этих данных и значения эффективной массы $1,08m_0$ для Si получено значение концентрации носителей в образце $7 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$.

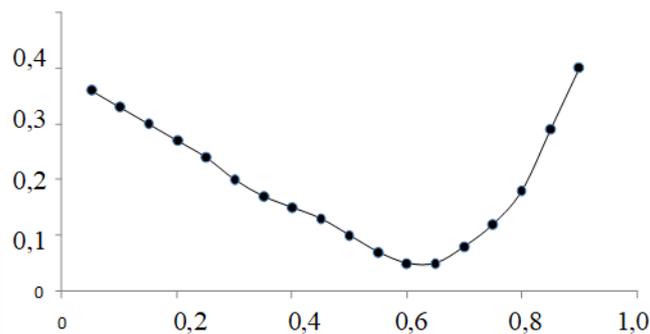


Рисунок 2 – Типичная зависимость коэффициента пропускания полупроводниковой пластины от магнитной индукции на частоте зондирующего излучения 67 ГГц

Оценка концентрации электронов в приповерхностной облучаемой области с учетом коэффициента поглощения кремния 10^2 м^{-1} на длине волны фотовозбуждающего излучения (0,96 мкм) дает значение, которое может отличаться от полученного из рассмотренных выше частотных измерений примерно на 2%. Значение скорости поверхностной рекомбинации, рассчитанное по формуле (1) при $I_s = 4 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$, составляет 25 м/с. При расчетах полагалось, что излучение фотовозбуждающего лазерного диода в плоскости образца образует конус с площадью около 1 см^2 .

Предлагаемая методика не требует использования данных о коэффициенте диффузии и объемном времени жизни носителей и может быть полезной для определения скорости поверхностной рекомбинации при использовании излучений миллиметрового диапазона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Palais O., Arcari A. Contactless measurement of bulk lifetime and surface recombination velocity in silicon wafers // J. Appl. Phys. – 2003. – Vol. 93. – No. 8. – PP. 4686–4690.

2. Separation of the bulk lifetime and surface recombination velocities in semiconductor wafer by a single microwave photoconductance/ F. X. Chen et al // Semicond. Sci. and Technology. – 2004. – Vol. 19, no. 9. – P. 959–963.

3. Богатыренко В.В., Зиновчук А.В. Измерение скорости поверхностной рекомбинации и объемного времени жизни в пластинах Si по кинетике избыточного теплового излучения // Физика и техника полупроводников. – 2015. – Т. 45, вып. 1. – С. 62–66.

4. Басс Ф.Г., Гуревич Ю.Г. Горячие электроны и сильные электромагнитные волны в плазме полупроводников и газового разряда. – М.: Наука, 1975. – 400 с.

МОДАЛЬНАЯ УПРАВЛЯЕМОСТЬ ОДНОЙ ДВУМЕРНОЙ СИСТЕМЫ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ В СПЕЦИАЛЬНОМ СЛУЧАЕ

Рассмотрим линейную стационарную систему с запаздывающим аргументом с одним входом и двумя соизмеримыми запаздываниями:

$$\dot{x}(t) = A_0x(t) + A_1x(t-h) + A_2x(t-2h) + bu(t), \quad (1)$$

где A_j , $j = 0, 1, 2$ – постоянные (2×2) -матрицы; $h > 0$ – постоянное запаздывание; b – постоянный 2-вектор; u – скалярное управление. Не ограничивая общности, можно считать, что $b' = (0 \ 1)$ (штрих $(\cdot)'$ означает транспонирование).

Характеристическое уравнение разомкнутой (с нулевым управлением) системы (1) имеет вид

$$\det[\lambda I_2 - A_0 - A_1e^{-\lambda h} - A_2e^{-2\lambda h}] \equiv \lambda^2 + (\alpha_{10} + \alpha_{11}e^{-\lambda h} + \alpha_{12}e^{-2\lambda h})\lambda + \alpha_{00} + \alpha_{01}e^{-\lambda h} + \alpha_{02}e^{-2\lambda h} + \alpha_{03}e^{-3\lambda h} + \alpha_{04}e^{-4\lambda h}, \quad (2)$$

где $\lambda \in \mathbb{C}$.

Присоединим к системе (1) регулятор вида

$$u(t) = q'_0x(t) + \sum_{j=1}^L q'_jx(t-jh) + \int_{-2h}^0 g'(s)x(t+s)ds, \quad (3)$$

где $L \in \mathbb{N}$, q_{ij} , q'_{ij} – 2-векторы; $g(s)$, $s \in [-h, 0]$ – непрерывная 2-вектор-функция.

В частотной области регулятор (3) имеет вид

$$U(\lambda) = q'_0 + \sum_{j=1}^L q'_je^{-jh} + G(\lambda), \quad (4)$$

где $G(\lambda)$ – целая функция, определяющая интегральную часть (3).

Определение. Система (1) модально управляема регулятором вида (3), если для наперед заданных чисел $\tilde{\alpha}_{ij}$, $i = 0, j = 0, 1, 2, 3, 4$; $i = 1, j = 0, 1, 2$ найдется такой регулятор, при котором характеристическое уравнение замкнутой системы (1), (3) будет иметь вид (ср. с (2)):

$$\begin{aligned} & \det[\lambda I_2 - A_0 - A_1e^{-\lambda h} - A_2e^{-2\lambda h} - bU(\lambda)] \\ & \equiv \lambda^2 + (\tilde{\alpha}_{10} + \tilde{\alpha}_{11}e^{-\lambda h} + \tilde{\alpha}_{12}e^{-2\lambda h})\lambda + \\ & + \tilde{\alpha}_{00} + \tilde{\alpha}_{01}e^{-\lambda h} + \tilde{\alpha}_{02}e^{-2\lambda h} + \tilde{\alpha}_{03}e^{-3\lambda h} + \tilde{\alpha}_{04}e^{-4\lambda h}. \end{aligned}$$

Пусть

$$\mu_1 = \tilde{\alpha}_{10} + \tilde{\alpha}_{11}m + \tilde{\alpha}_{12}m^2; \quad (5)$$

$$\mu_2 = \tilde{\alpha}_{00} + \tilde{\alpha}_{01}m + \tilde{\alpha}_{02}m^2 + \tilde{\alpha}_{03}m^3 + \tilde{\alpha}_{04}m^4, \quad (6)$$

где $\tilde{\alpha}_{ij}, i=0, j=0, 1, 3, 4; i=1, j=0, 1, 2$ – произвольные числа. Тогда система (1), замкнутая регулятором, решающим задачу модального управления, имеет следующее характеристическое уравнение:

$$\lambda^2 + \mu_1\lambda + \mu_2 = 0. \quad (7)$$

Обозначим $m = e^{-\lambda h}$ – оператор сдвига, $A(m) = A_0 + A_1m + A_2m^2$.

Пусть матрица $A(m)$ имеет вид

$$A(m) = \begin{bmatrix} a_0 + a_1m & b_0 + b_1m + m^2 \\ a_{21}(m) & a_{22}(m) \end{bmatrix},$$

где

$$\begin{aligned} a_{21}(m) &= a_{210} + a_{211}m + a_{212}m^2; \\ a_{22}(m) &= a_{220} + a_{221}m + a_{222}m^2. \end{aligned} \quad (8)$$

Регулятор, решающий задачу модального управления, будем искать в виде

$$U(\lambda, m) = [\eta_1(\lambda, m) \quad \eta_2(\lambda, m)]. \quad (9)$$

Нетрудно показать, что если интегральные компоненты регулятора искать в виде $c_0 \frac{m-k}{\lambda-\xi}$,

где $k = e^{-\xi h}$, то ξ удовлетворяет уравнению

$$\xi^2 + (b_1a_1 - 2a_0)\xi + a_0^2 + b_0a_1^2 - a_0a_1b_1 = 0. \quad (10)$$

Дискриминант уравнения (10) имеет вид

$$D = a_1^2b_1^2 - 4a_1^2b_0.$$

Предположим теперь, что $D=0$. Пусть выполнено условие

$$a_1 \neq 0. \quad (11)$$

Тогда из равенства нулю определителя уравнения (10) следует, что

$$b_0 = \frac{b_1^2}{4}.$$

С учетом последнего условия будем считать, что матрица $A(m)$ имеет вид

$$A(m) = \begin{bmatrix} a_0 + a_1 m & \frac{b_1^2}{4} + b_1 m + m^2 \\ a_{21}(m) & a_{22}(m) \end{bmatrix}.$$

Регулятор $U(\lambda, m)$ будем искать в виде

$$U(\lambda, m) = [\eta_1(\lambda, m) - a_{21}(m) \quad \eta_2(\lambda, m) - a_{22}(m)].$$

Непосредственной проверкой можно установить, что следующий регулятор решает задачу модального управления

$$\begin{aligned} \eta_1(\lambda, m) = & \frac{1}{(2k + b_1)^2} (a_1^3 b_1^2 h k - 4a_0 a_1^2 b_1 h k + \\ & + 4a_0^2 a_1 h k + 4a_1 h k (a_0 + a_1 m) \mu_1 - 4a_1^2 k^2 + \\ & + 4a_1 h k \mu_2 - 8a_0 a_1 k - 4a_0^2 - 4(a_0 + a_1 m) - 4\mu_2) + \\ & + \frac{m - k}{\left(\lambda - a_0 + \frac{a_1 b_1}{2}\right)} \cdot \frac{1}{(2k + b_1)^2} (a_1^3 b_1^2 h k - \\ & - 4a_0 a_1^2 b_1 h k + 4a_0^2 a_1 h k + 4a_1 h k (a_0 + a_1 m) \mu_1 + \\ & + a_1^2 b_1^2 + 4a_1^2 b_1 k + 4a_1 h k \mu_2 - 8a_0 a_1 k - \\ & - 4a_0^2 - 4(a_0 + a_1 m) \mu_1 - 4\mu_2) + \frac{1}{2k + a_1 b_1} \times \\ & \times \left(\frac{m - k}{\left(\lambda - a_0 + \frac{a_1 b_1}{2}\right)^2} - \frac{kh}{\lambda - a_0 + \frac{a_1 b_1}{2}} \right) a_1^2 \times \\ & \times (a_1^2 b_1^2 - 4a_0 a_1 b_1 + 4a_0^2 + 4(a_0 + a_1 m) \mu_1 + 4\mu_2). \\ \eta_2(\lambda, m) = & - \frac{1}{(2k + b_1)^2} (a_1 b_1^2 h k \mu_1 + 4a_1 b_1 h k m \mu_1 + \\ & + 4a_1 h k m^2 \mu_1 + a_1 b_1^2 m + 4a_1 b_1 k m + 4a_1 k^2 m + a_0 b_1^2 + \\ & + 4a_0 b_1 k + 4a_0 k^2 + 4b_1 k \mu_1 - 4b_1 m \mu_1 + 4k^2 \mu_1 - \\ & - 4m^2 \mu_1) - \frac{1}{2(2k + b_1)^2} \cdot \frac{m - k}{\lambda - a_0 + \frac{a_1 b_1}{2}} \times \\ & \times (a_1^3 b_1^3 h k + 2a_1^3 b_1^2 h k m - 4a_0 a_1^2 b_1^2 h k - 8a_0 a_1^2 b_1 h k m - \\ & - 2a_1^2 b_1^2 h k \mu_1 - 4a_1^2 b_1 h k m \mu_1 + 4a_0^2 a_1 b_1 h k + \\ & + 8a_0^2 a_1 h k m + 4a_0 a_1 b_1 h k \mu_1 + 8a_0 a_1 h k m \mu_1 + \\ & + 2a_1^2 b_1^2 k + 2a_1^2 b_1^2 m + 8a_1^2 b_1 h k m + 4a_1 b_1 h k \mu_2 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 8a_1 h k m \mu_2 + 4a_0 a_1 b_1^2 - 16a_0 a_1 k m + 2a_1 b_1^2 \mu_1 - \\
& - 8a_1 k m \mu_1 - 8a_0^2 b_1 - 8a_0^2 k - 8a_0^2 m - 8a_0 b_1 \mu_1 - \\
& - 8a_0 k \mu_1 - 8a_0 m \mu_1 - 8b_1 \mu_2 - 8k \mu_2 - 8m \mu_2) + \\
& + \left(\frac{m-k}{\left(\lambda - a_0 + \frac{a_1 b_1}{2} \right)^2} - \frac{kh}{\lambda - a_0 + \frac{a_1 b_1}{2}} \right) \cdot \frac{a_1 (b_1 + 2m)}{4(2k + b_1)} \times \\
& \times (a_1^2 b_1^2 - 4a_0 a_1 b_1 - 2a_1 b_1 \mu_1 + 4a_0^2 + 4a_0 \mu_1 + 4\mu_2).
\end{aligned}$$

УДК 517.584

Л.Д. Яроцкая, доц., канд. физ.-мат. наук (БГТУ, г. Минск)

О ПРЕДСТАВЛЕНИИ СУММЫ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФУНКЦИЙ БЕССЕЛЯ $I_{-\nu} + I_{\nu}$

Многие физические процессы описываются уравнениями в частных производных, решение которых методом разделения переменных в полярных координатах часто приводит к обыкновенным дифференциальным уравнениям специальной структуры, описанных Ф. Бесселем.

Для модифицированного уравнения Бесселя [1, 7.2.2.11]

$$z^2 w''(z) + z w'(z) - (z^2 + \nu^2) w(z) = 0, \quad 1)$$

где z – комплексная переменная, ν – параметр, который может принимать любые вещественные или комплексные значения, общее решение может быть записано в виде

$$w(z) = C_1 I_{\nu}(z) + C_2 K_{\nu}(z),$$

где C_1 и C_2 произвольные постоянные, а модифицированный функции Бесселя $I_{\nu}(z)$ и $K_{\nu}(z)$ определяются формулами:

$$I_{\nu}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k! \Gamma(k + \nu + 1)} \left(\frac{z}{2} \right)^{2k + \nu}, \quad 2)$$

$$K_{\nu}(z) = \frac{\pi}{2 \sin(\nu \pi)} [I_{-\nu}(z) - I_{\nu}(z)], \quad 3)$$

где $\Gamma(s)$ – гамма-функция Эйлера. Если ν не является целым числом, то функции $I_{\nu}(z)$ и $I_{-\nu}(z)$ являются двумя линейно независимыми решениями уравнения (1).

Функции Бесселя могут быть представлены обобщенным гипергеометрическим рядом

$${}_pF_q \left(\begin{matrix} a_1, \dots, a_p \\ b_1, \dots, b_q \end{matrix}; z \right) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(a_1)_k \dots (a_p)_k}{(b_1)_k \dots (b_q)_k} \frac{z^k}{k!},$$

содержащий в числителе p , а в знаменателе q параметров, коэффициенты которого определяются символом Похгаммера

$$(a)_k = a(a+1)\dots(a+k-1) = \frac{\Gamma(a+k)}{\Gamma(a)}, \quad (a)_0 = 1.$$

В частности,

$$I_\nu(z) = \frac{1}{\Gamma(\nu+1)} \left(\frac{z}{2}\right)^\nu {}_0F_1 \left(\nu+1; \frac{z^2}{4} \right) = \frac{e^{-z}}{\Gamma(\nu+1)} \left(\frac{z}{2}\right)^\nu {}_1F_1 \left(\nu+\frac{1}{2}; \frac{z^2}{4} \right).$$

Ряд в правой части абсолютно сходится при всех z , если $p \leq q$.

Если $\nu = n$ – целое положительное число, то первые $n-1$ членов бесконечного ряда, определяющего $I_{-n}(z)$, обращаются в нуль, поскольку гамма-функции, стоящие в знаменателе этих членов, имеют полюс. Остающиеся гамма-функции могут быть заменены факториалами, в результате получаем

$$I_{-n}(z) = \sum_{k=n}^{\infty} \frac{1}{k!(k-n)!} \left(\frac{z}{2}\right)^{2k-n}.$$

Заменяя здесь k на $n+m$, $m=0,1,2,\dots$, получаем

$$I_{-n}(z) = I_n(z). \quad 4)$$

При целом $\nu = n$ функция (3) определяется следующим образом:

$$K_n(z) = \lim_{\nu \rightarrow n} K_\nu(z).$$

Функции Бесселя и модифицированные функции Бесселя сводятся к линейным комбинациям элементарных функций тогда и только тогда, когда ν является половиной нечетного числа или, кратко говорят, полуцелым числом [1]. Найдем предварительно значения функций

$I_{\pm\frac{1}{2}}(z)$, для чего положим в (2) $\nu = \pm\frac{1}{2}$ и воспользуемся для преобразования рядов формулой удвоения гамма-функции

$$2^{2z-1} \Gamma(z) \Gamma\left(z + \frac{1}{2}\right) = \sqrt{\pi} \Gamma(2z).$$

В результате получим

$$I_{\frac{1}{2}}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{\Gamma(k+1)\Gamma\left(k+\frac{3}{2}\right)} \left(\frac{z}{2}\right)^{2k+\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{2z}{\pi}} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^{2k}}{\Gamma(2k+2)} = \sqrt{\frac{2}{\pi z}} \operatorname{sh} z,$$

и, аналогично,

$$I_{-\frac{1}{2}}(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi z}} \operatorname{ch} z.$$

Далее, учитывая определение гиперболических функций $\operatorname{ch} z$ и $\operatorname{sh} z$, для суммы модифицированных функций Бесселя имеем выражение

$$I_{-\frac{1}{2}}(z) + I_{\frac{1}{2}}(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi z}} e^z.$$

Возможность выразить модифицированные функции Бесселя с любым полуцелым параметром через элементарные функции следует из рекуррентной формулы [1]

$$I_{\nu-1}(z) - I_{\nu+1}(z) = \frac{2\nu}{z} I_{\nu}(z),$$

пользуясь которой можно последовательно получить:

$$I_{-\frac{3}{2}}(z) + I_{\frac{3}{2}}(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi z}} \left(1 - \frac{1}{z}\right) e^z,$$

$$I_{-\frac{5}{2}}(z) + I_{\frac{5}{2}}(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi z}} \left(1 - \frac{3}{z} + \frac{3}{z^2}\right) e^z$$

и т.д. Можно показать, что

$$I_{-\left(n+\frac{1}{2}\right)}(z) + I_{n+\frac{1}{2}}(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi z}} e^z \sum_{k=0}^n \frac{(-1)^k (n+k)!}{k!(n-k)!(2z)^k}.$$

Функции Бесселя допускают интегральные представления с помощью системы определенных и контурных интегралов, которые часто встречаются при решении задач теоретической и прикладной математики. Для рассматриваемой суммы модифицированных функций Бесселя справедливо представление [2, п. 10.12]

$$I_{-\nu}(z) + I_{\nu}(z) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} e^{z \cos \theta} \cos \nu \theta d\theta + \frac{2 \sin \nu \pi}{\pi} \int_0^{\infty} e^{-z \operatorname{ch} t} \operatorname{sh} \nu t dt. \quad (5)$$

Отметим, что несобственный интеграл в (5) при $\nu = i\tau$, $\tau \in \mathbb{R}_+$, определяет специальную функцию двух действительных переменных

$$K(\tau, x) = \int_0^{\infty} e^{-x \operatorname{ch} u} \sin \tau u \, du \quad (6)$$

– ядра интегрального преобразования, введенного в работе [3], в связи с решением интегрального уравнения второго рода с двумя ядрами типа свертки Конторовича – Лебедева. Кроме того, в работе [4] изучались свойства преобразований по индексу, порожденных двойственной формулой

$$f(\tau) = -\frac{2}{\pi^3} \int_0^{\infty} [I_{-i\tau}(x) + I_{i\tau}(x)] \int_0^{\infty} y K(\tau, y) f(y) dy \frac{dx}{x}.$$

Там же показано, что интеграл (6) выражается через функции гипергеометрического типа следующим образом

$$K(\tau, x) = \frac{e^{-x}}{\tau} {}_2F_2\left(\frac{1}{2}, 1; 1 - i\tau, 1 + i\tau; 2x\right) - \frac{\pi}{2 \operatorname{sh} \pi \tau} [I_{-i\tau}(x) + I_{i\tau}(x)].$$

Справедливо представление интегралом Меллина-Бернса вида

$$I_{-\nu}(\sqrt{z}) + I_{\nu}(\sqrt{z}) = \frac{1}{i} \int_{\gamma - i\infty}^{\gamma + i\infty} \left(\frac{z}{4}\right)^{-s} \frac{\Gamma(-\frac{\nu}{2} + s) \Gamma(\frac{\nu}{2} + s)}{\Gamma(s) \Gamma(\frac{1}{2} + s) \Gamma(1 - s) \Gamma(\frac{1}{2} - s)} ds,$$

где $-\left|\operatorname{Re} \frac{\nu}{2}\right| < \gamma < 1$. Оно может быть получено путем вычисления интеграла с помощью вычетов подынтегральной функции или применения формул [5, 8.4.51].

Отметим, что многочисленные результаты, относящиеся к теории специальных функций, можно найти в справочнике [5] или на сайте Wolfram Functions Site.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бейтмен Г., Эрдейи А. Высшие трансцендентные функции. Функции Бесселя, функции параболического цилиндра, ортогональные многочлены. – М., «Наука», 1974. – 296 с.
2. Ватсон Г. Теория бесселевых функций. – М., Изд-во иностр. лит., 1949. – 797 с.
3. Гусаревич Л.Д. Об интегральном уравнении с двумя ядрами, разрешимом с помощью преобразования Конторовича – Лебедева // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-мат. наук, 1(1999), с. 37–44.
4. Yakubovich S.B., Gusarevich L.D. On the non-convolution transformation with the Macdonald type kernel function // Fractional Calculus and Applied Analysis, 1998, Vol. 1, № 3, P. 297–309.
5. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. Интегралы и ряды. Дополнительные главы. – М.: Наука, 1986. – 800 с.

В.В. Крахотко, доц., канд. физ.- мат. наук;
 В.В. Горячкин, доц., канд. физ.-мат. наук (БГУ, г. Минск);
 В.В. Игнатенко, доц., канд. физ.- мат. наук (БГТУ, г.Минск)

ОДНА ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ

Вопросы управляемости линейных дискретных двухпараметрических систем исследованы в монографии [1].

Доклад посвящен исследованию задачи управляемости интервальной нестационарной дискретной системы, у которой матрицы уравнения при неизвестной переменной состояния неотрицательные интервалы. Интервальную управляемость можно трактовать как управляемость интервальных систем, то есть систем, у которых коэффициенты являются интервалами и которые подчинены специальной интервальной арифметике [2-4].

Получен интервальный аналог формулы Коши. Рассмотрена задача перевода траектории интервальной двухпараметрической дискретной системы из одного множества начальных состояний в другое за конечное число тактов, используя только точечное управление. Нахождение не интервального управления сведено к решению задачи линейного программирования, сформулированной по коэффициентам системы и интервальному множеству начальных состояний. Предложен конструктивный алгоритм построения искомого управления.

В рамках интервального исчисления [2] рассмотрим интервальную нестационарную двухпараметрическую линейную дискретную систему:

$$[x(t+1, s)] = [A(t, s)][x(t, s+1)] + [D(t, s)][x(t, s)] + [B(t, s)][u(t, s)], \quad (1)$$

где $(t, s) \in Z_+ \times Z$ - независимая переменная; $[x(t, s)] \in I(R^n)$ - интервальная переменная (интервальное состояние), $[u(t, s)] \in I(R^m)$ - интервальное управление; $[A(t, s)], [D(t, s)] \in I(R_+^{n \times n})$ - интервальные неотрицательные матрицы, $[B(t, s)] \in I(R^{n \times m})$ - интервальная матрица.

Зададим интервальное начальное состояние

$$[x(0, s)] = [\alpha(s)] \in I(R^n), \quad s \in Z. \quad (2)$$

Зафиксируем пару (t, s) в множестве $\Omega = [0, T] \times [s, s+T]$, $s \in Z$, $T \in Z_+$ и $T \geq n$; и составим рекуррентное соотношение

$$\begin{aligned}
[F(t, s, i, j)] &= [F(t, s, i+1, j-1)][A(i, j-1)] + [F(t, s, i+1, j)][D(i, j)], \\
i &= t, t-1, t-2, \dots, 1, 0, \\
j &= s+t-i-1, s+t-i-2, s+t-i-3, \dots, s+1, s
\end{aligned} \tag{3}$$

с краевыми условиями:

$$[F(t, s, i, j) = 0 \text{ при } j < 1 \text{ или } i + j > t + s, \quad [F(t, s, i, j) = E \text{ при } i = t, \tag{4}$$

Учитывая соотношения (3), (4) и неотрицательность матриц $[F(t, s, i, j)]$, $[A(t, s)]$, $[D(t, s)]$, получим

$$\begin{aligned}
[x(t, s)] &\subseteq [F(t, s, 0, s+j)][\alpha(s+j)] + \\
&+ [F(t, s, i+1, j)][B(i, s+j)][u(i, s+j)].
\end{aligned} \tag{5}$$

Включение (5) есть обобщение известной формулы Коши на случай интервальной задачи.

Интервальную функцию в правой части включения (5)

$$[z(t, s)] = [F(t, s, 0, s+j)][\alpha(s+j)] + [F(t, s, i+1, j)][B(i, s+j)][u(i, s+j)]$$

назовем приближенным решением задачи Коши системы (1),(2).

Легко видеть, что в случае точечных матриц и векторов включение (5) переходит в равенство.

Рассмотрим задачу перевода траектории решения интервальной системы (1), (2) из одного заданного множества $[\alpha(s)]$ в другое $[x_T]$ за конечное число тактов. Если такая задача разрешима, то будем говорить об управляемости системы (1).

А так как сформулированная задача, очевидно, разрешима не всегда, то поэтому поставим задачу управления несколько иначе.

Пусть ε – n -вектор с неотрицательными координатами. Определим ε -окрестность интервального вектора $[x_T] = [x_{1T}, x_{2T}]$ как $[x] = [x - \varepsilon, x + \varepsilon]$.

Требуется найти управление $[u] = [u(t, s)] \in I(R)$, такое, что точное решение $[x(t, s, [u])]$ задачи (1), (2) попадет в ε -окрестность бруса $[x_{T, \varepsilon}]$ и $e\varepsilon$ будет минимальна, где вектор $e = (1, 1, \dots, 1)$. Рассмотрим более простую задачу о попадании приближенного решения $[z(t, s)]$ в минимальную окрестность бруса $[x]$.

Следуя работе [5], сформулируем задачу линейного программирования:

$$\begin{aligned}
& e\varepsilon \rightarrow \min \\
& d + Mv - M\phi \geq x - \varepsilon, \\
& d + Mw + M\psi \leq x + \varepsilon, \\
& Mu - M\omega - v = 0 \\
& Mu + M\omega - w = 0, \\
& -\phi \leq v \leq \phi, \quad -\psi \leq w \leq \psi, \quad -\omega \leq u \leq \omega, \\
& \varepsilon \geq 0, u \in U
\end{aligned} \tag{6}$$

с неизвестными векторами $(\varepsilon, u, \omega, v, \phi, w, \psi)$. В задаче (6) целевая функция ограничена снизу нулем и ограничения совместны, поэтому ее оптимальный план $(\varepsilon^*, u^*, \omega^*, v^*, \phi^*, w^*, \psi^*)$ существует.

Ясно, что равенство $\varepsilon^* = 0$ необходимо и достаточно для совместности системы ограничений (6). Справедлива

Теорема 1. Для управляемости системы (1) необходимо и достаточно, чтобы оптимальный план задачи (6) имел составляющую $\varepsilon = 0$. В этом случае управление u^ переводит траекторию системы (1) из начального состояния (2) в терминальный брус $[x(t, s, u)] \subseteq z(t, s, u) \subseteq [x]$. Если $\varepsilon > 0$, то траектория системы (1) из начального состояния (2) точечным управлением u^* переводится в минимальную окрестность бруса $[x(t, s, u)] \subseteq [x]$.*

Проиллюстрируем решение задачи управляемости на следующем простом примере. Пусть $s = 0, T = 3, n = 2, m = 1$. Матрицы-коэффициенты и начальное условие представлены в таблице.

Таблица – Решение задачи управляемости

$[A(t, s)]$	$[D(t, s)]$	$[B(t, s)]$	$[\alpha(s)]$
Матрица $[A(0,0)]$ [1,00 , 1,00] [0,00 , 0,20] [0,00 , 0,00] [1,00 , 1,00]	Матрица $[D(0,0)]$ [0,00 , 0,00] [0,00 , 0,00] [0,20 , 0,50] [0,00 , 0,00]	Вектор $[B(0,0)]$ [- 0,40 , - 0,30] [3,00 , 3,00]	Вектор $[Alfa(0)]$ [- 4,00 , 1,00] [2,00 , 3,00]
Матрица $[A(0,1)]$ [2,00 , 3,00] [0,40 , 0,50] [3,00 , 4,00] [0,20 , 0,30]	Матрица $[D(0,1)]$ [0,00 , 1,00] [1,00 , 1,00] [0,00 , 0,00] [0,00 , 0,00]	Вектор $[B(0,1)]$ [- 2,00 , - 1,00] [- 4,00 , - 0,40]	Вектор $[Alfa(1)]$ [1,00 , 2,00] [- 2,00 , - 1,00]
Матрица $[A(0,2)]$ [1,00 , 2,00] [1,00 , 1,00] [3,00 , 5,00] [0,40 , 0,60]	Матрица $[D(0,2)]$ [0,00 , 1,00] [0,10 , 0,40] [0,00 , 1,00] [1,00 , 4,00]	Вектор $[B(0,2)]$ [- 0,60 , - 0,50] [- 2,00 , - 1,00]	Вектор $[Alfa(2)]$ [0,00 , 2,00] [- 2,00 , 0,00]
Матрица $[A(1,0)]$ [5,00 , 5,00] [2,00 , 4,00] [1,00 , 1,00] [0,50 , 0,60]	Матрица $[D(1,0)]$ [0,30 , 0,50] [1,00 , 2,00] [0,40 , 0,50] [0,00 , 4,00]	Вектор $[B(1,0)]$ [- 1,00 , - 1,00] [0,12 , 0,12]	Вектор $[Alfa(3)]$ [2,00 , 3,00] [- 3,00 , 1,00]
Матрица $[A(1,1)]$ [1,00 , 1,00] [1,00 , 3,00] [0,50 , 0,60] [0,60 , 0,80]	Матрица $[D(1,1)]$ [0,20 , 0,40] [0,10 , 0,60] [0,00 , 0,70] [0,10 , 0,10]	Вектор $[B(1,1)]$ [- 0,30 , - 0,30] [- 0,40 , - 0,20]	
Матрица $[A(2,0)]$ [0,30 , 0,50] [0,50 , 0,70] [0,00 , 0,30] [0,00 , 0,10]	Матрица $[D(2,0)]$ [1,00 , 1,00] [1,00 , 1,00] [0,30 , 0,30] [2,00 , 2,00]	Вектор $[B(2,0)]$ [- 3,00 , - 0,30] [- 0,20 , - 0,20]	

Терминальное условие: $[x(t, s)] \subseteq [x_T] = \begin{pmatrix} [-105, 65] \\ [-80, 65] \end{pmatrix}$.

Решение задачи (6) с заданными параметрами получено в среде пакета компьютерной математики “Mathematica”. Нас интересует только следующие вектор-столбцы решения оптимизационной задачи (6): левая и правая окрестности терминального бруса $\varepsilon = (31.492, 0)$, $\varepsilon_R^* = (0, 3.70373)$ и точечное управление $u = (0, 0, 0, 80.40454, 0, 0)$. Для анализа воспользуемся найденным управлением u^* и вычислим точное и приближенное решения. Имеем: точное решение

$[x(3, 0, u)] = \begin{pmatrix} [-126.676, 61.87] \\ [-55.6, 64.36373] \end{pmatrix}$, приближенное решение

$[z(3, 0, u)] = \begin{pmatrix} [-136.491, 65.00] \\ [-62.390, 68.703] \end{pmatrix}$, терминальный брус $[x_T] = \begin{pmatrix} [-105, 65] \\ [-80, 65] \end{pmatrix}$

и его минимальная окрестность $[x_{T, \varepsilon_L^* \varepsilon_R^*}] = \begin{pmatrix} [-136.491, 65] \\ [-80, 68.70373] \end{pmatrix}$. Евклидова норма матрицы метрик Хаусдорфа попадания точного решения в минимальную окрестность наперед заданного терминального бруса равна 31.7.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайшун И.В. Многопараметрические системы управления. – Мн.: Навука і тэхніка, 1996. – 200 с.

2. Шарый С.А. Конечномерный интервальный анализ, Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2013. Электронная книга, URL: <http://www.nsc.ru/interval/Library/InteBooks/Shary Book.pdf>.

3. Гайшун И.В., Горячкин В.В. Интервальная и робастная устойчивость двухпараметрических дискретных систем с интервальными коэффициентами // Дифференциальные уравнения. – 2015. – Том 51, №10. – С. 1277–1283.

4. Гайшун И.В., Горячкин В.В., Крахотко В.В. Оценка решений двухпараметрической дискретной системы с интервальными коэффициентами // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2014. – № 3. – С.5–8.

5. Ащепков Л.Т. Неотрицательная управляемость интервальной линейной дискретной системы // Известия Иркутского государственного университета. Серия “Математика”. – 2009. – Т. 2, № 1. – С. 37–51.

ЦЕНТРОБЕЖНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ФАЗ В КОНИЧЕСКОМ ПРОНИЦАЕМОМ ЭЛЕМЕНТЕ

В химической, пищевой и других отраслях промышленности используются фильтрующие центрифуги непрерывного действия. Они предназначены для разделения суспензий с нерастворимой твердой фазой, классификации материалов, обезвоживания зернистых и кристаллических продуктов [1]. Проницаемый конический ротор является основным элементом такого типа центрифуг (рис. 1).

Процесс обезвоживания суспензии зависит от геометрических параметров ротора, режимов его движения, физических и реологических свойств суспензии, режимов пленочного движения.

В работе [2] рассмотрено стационарное осесимметричное ламинарное движение пленки вязкой жидкости по внутренней стенке вертикального конуса, вращающегося с постоянной угловой скоростью ω . Ось z цилиндрической системы координат направлена вверх по оси конуса (рис. 1). При малых углах β наклона образующей конуса к его оси элементарные участки поверхности рассматриваем как цилиндры.

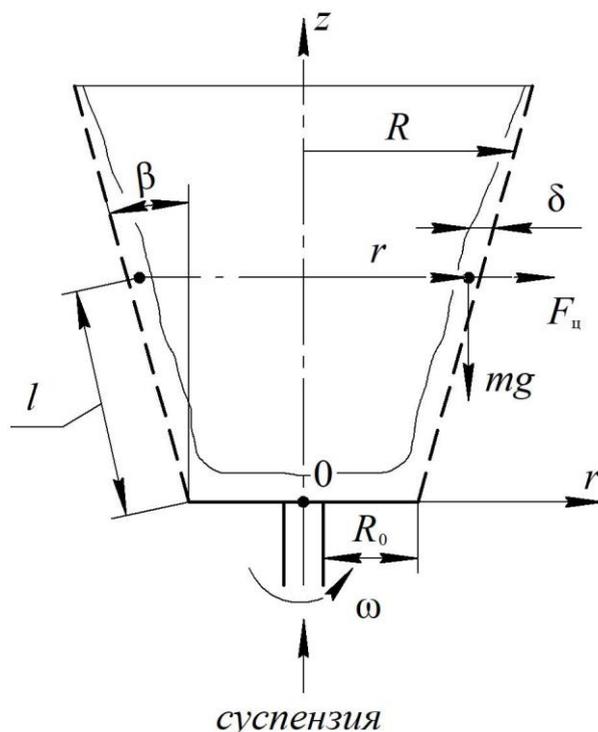


Рисунок 1 – Схема течения суспензии

При заданном расходе Q жидкости рассчитан ее удельный расход на единицу периметра конуса

$$q = \frac{Q}{2\pi R}.$$

и получена величина для толщины пленки жидкости:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{6qv}{\omega^2 R \sin \beta - g \cos \beta}}. \quad (1)$$

Восходящее течение пленки по конической поверхности будет наблюдаться при выполнении условия

$$\omega^2 R \sin \beta - g \cos \beta > 0.$$

Отсюда получаем соотношение:

$$\frac{\omega^2 R}{g} > \operatorname{ctg} \beta.$$

Суспензию будем рассматривать как жидкость с эффективной вязкостью η , зависящей от вязкости несущей среды η_0 и объемной концентрации ϕ частиц твердой фазы.

Для определения эффективной вязкости мало концентрированных суспензий [3] используется формула Эйнштейна:

$$\mu = \mu_0 \left(1 + \frac{5}{2} \phi \right), \quad (2)$$

а для концентрации $\phi \leq 0,25$ применяется простая формула:

$$\mu = \mu_0 (1 - 2,5\phi)^{-1}. \quad (3)$$

Изменение объемного расхода суспензии по длине проницаемого конуса определяется локальной скоростью оттока жидкой фазы:

$$\frac{dq}{dl} = -U_0 \quad (U_0 > 0). \quad (4)$$

Скорость оттока жидкости через проницаемый элемент определяется по закону Дарси [4], зависит от перепада давления на стенке, сопротивлений фильтровальной перегородки и образованного осадка:

$$U_0 = \gamma \frac{\Delta P}{\mu(R_{\phi.л.} + R_{oc})}. \quad (5)$$

Перепад давления обусловлен нормальными проекциями на коническую поверхность центробежной силы и силы тяжести:

$$\Delta P = \rho \delta (\omega^2 R \cos \beta + g \sin \beta) dl. \quad (6)$$

Идельчиком [5] при обработке экспериментальных данных получена формула зависимости коэффициента расхода γ от относительной площади \bar{f} отверстий:

$$\gamma^{-2} = \left(0,707\sqrt{1-\bar{f}} + 1 + \bar{f}\right)^2 / \bar{f}^2. \quad (7)$$

Для расчета задается фиксированный шаг изменения длины dl и на каждом шаге учтем изменение количества жидкости. Из уравнения материального баланса для твердой фазы

$$(c + dc)(q + dq) = cq,$$

ограничившись дифференциалами первого порядка, находим уравнение для изменения концентрации суспензии:

$$\frac{dc}{dl} = -\frac{c}{q} \frac{dq}{dl} = \frac{cU_0}{q}. \quad (8)$$

Концентрация определяет плотность суспензии:

$$\rho = \rho_T c + \rho_{ж}(1 - c). \quad (9)$$

Полученная математическая модель пленочного обезвоживания суспензии на внутренней поверхности пронизываемого вращающегося конуса позволяет рассчитать режимы движения и другие гидродинамические характеристики в зависимости от геометрических параметров конуса, его частоты вращения и нагрузок по суспензии с учетом ее физических и реологических свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Славянский А.А., Семенов Е.В., Антипов С.Т. Критериальное моделирование процесса центробежного разделения утфеля III кристаллизации // Вестник ВГУИТ. – 2017. – Т. 79. – № 4. – С. 11–17. – DOI:10.20914/2310-1202-2017-4-11-17.
2. Волк А.М. Гидродинамика жидкой пленки на конической поверхности // Труды БГТУ. – 2013. – № 6: Физ.-мат. науки и информатика. – С. 45–47.
3. Бувевич Ю.А., Марков В.Г. Континуальная механика монодисперсных суспензий. Реологические уравнения состояния для суспензий умеренной концентрации // Приклад. математика и механика. – 1973. – Т. 37. – Вып. 6. – С. 1059–1077.
4. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: В 2 кн. – М.: Химия, 1981. – 812 с. – Серия «Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии».
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975. – 560 с.

ПРИМЕРЫ ПОСТРОЕНИЯ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ РЕГУЛЯТОРОВ ТИПА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ ГИБРИДНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Одним из важнейших свойств, присущих системе управления, является свойство устойчивости. Поэтому центральное место в качественной теории управления динамическими системами занимает задача стабилизации, целью которой является построение регулятора, обеспечивающего устойчивость замкнутой системы. Представляет интерес исследование стабилизации гибридных систем, т.е. систем, описывающих динамические процессы, природа которых носит неоднородный характер. К ним относятся дискретно-непрерывные (ГДН) системы, часть переменных в которых являются непрерывными, а часть – дискретными, а также дифференциально-разностные (ГДР) системы, в которых наряду с дифференциальными связями присутствуют и алгебраические зависимости. Исследование гибридных систем и решение различных задач управления для них позволяет расширить область применения математической теории управления.

В докладе рассматриваются несколько видов линейных регуляторов по типу обратной связи. Они применяются при решении задач стабилизации для систем, которые описывают процессы, носящие неоднородный характер. Основное внимание уделено регуляторам, не выводящим системы за пределы заданного класса, и регуляторам с интегральными составляющими. В частности, рассматриваются примеры построения регуляторов, стабилизирующих системы с запаздыванием, дифференциально-разностные системы. Получен стабилизирующий регулятор разностного типа для реальной системы с запаздыванием.

Рассмотрим гибридную дифференциально-разностную систему в симметрической относительно операторов дифференцирования и сдвига форме:

$$\dot{x}_1(t) = A_{11}x_1(t) + A_{12}x_2(t) + B_1u(t), \quad (1)$$

$$x_2(t+h) = A_{21}x_1(t) + A_{22}x_2(t) + B_2u(t), t \geq 0 \quad (2)$$

с начальными условиями

$$x_1(0) = x_{10}, x_2(\tau) = \psi(\tau), \tau \in [0, h), \quad (3)$$

где $x_1(t) \in R^{n_1}$, $x_2(t) \in R^{n_2}$, $u(t) \in R^r$, $h > 0$, A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} , B_1 , B_2 – действительные постоянные матрицы соответствующих размеров;

$u = u(\cdot)$ – внешнее (кусочно-непрерывное) воздействие – управление;
 $\psi(\cdot)$ – начальная кусочно-непрерывная n_2 -вектор-функция.

Рассмотрим линейную обратную связь следующих типов: в виде простейшего регулятора

$$u(t) = Q_1 x_1(t) + Q_2 x_2(t), \quad (4)$$

где Q_1 и Q_2 – постоянные матрицы (такой регулятор не выводит замкнутую систему за пределы рассматриваемого класса); в виде регулятора с интегральными составляющими типа свертки

$$u(t) = Q_1 x_1(t) + Q_2 x_2(t) + \int_0^t Q_1(s) x_1(t-s) ds + \int_0^t Q_2(s) x_2(t+h-s) ds, \quad (5)$$

где Q_1 и Q_2 – постоянные матрицы, $Q_1(\cdot)$ и $Q_2(\cdot)$ – матрицы-функции соответствующих размеров, причем элементы функциональных матриц $Q_1(\cdot)$ и $Q_2(\cdot)$ являются кусочно-непрерывными функциями с конечным носителем $H > 0$, $Q_1(\cdot) \equiv 0$, $Q_2(\cdot) \equiv 0$ для $t > H$. Положим

$$x_2(t) = x_3(t-h), t \geq 0. \quad (6)$$

Тогда система запишется в виде ГДР-системы запаздывающего типа, более удобной для применения преобразования Лапласа:

$$\dot{x}_1(t) = A_{11} x_1(t) + A_{12} x_3(t-h) + B_1 u(t), \quad (7)$$

$$x_3(t) = A_{21} x_1(t) + A_{22} x_3(t-h) + B_2 u(t), t \geq 0. \quad (8)$$

Регуляторы (4), (5) переписутся в виде (9) и (10):

$$u(t) = Q_1 x_1(t) + Q_2 x_3(t-h), \quad (9)$$

$$u(t) = Q_1 x_1(t) + Q_2 x_3(t-h) + \int_0^t Q_1(s) x_1(t-s) ds + \int_0^t Q_2(s) x_3(t-s) ds. \quad (10)$$

В скалярном случае ($A_{ij} = a_{ij}$, $B_j = b_j$, $i=1,2$, $j=1,2$) ($b_2 \neq 0$) полагаем

$$u(t) = \frac{1}{b_2} (-a_{21} x_1(t) - a_{22} x_3(t-h) + v(t)), t \geq 0. \quad (11)$$

Присоединим к системе (7), (8), (11)

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= a_{11}^* x_1(t) + a_{12}^* x_3(t-h) + b_1^* v(t), \\ x_3(t) &= v(t), \end{aligned} \quad (12)$$

где $b_1^* = \frac{b_1}{b_2}$, $a_{11}^* = a_{11} - b_1^* a_{21}$, $a_{12}^* = a_{12} - b_1^* a_{22}$, регулятор вида (10). При-

меняя преобразование Лапласа, проведем построение регулятора, стабилизирующего систему (12). После возвращения к системе (1), (2) получаем стабилизирующий регулятор

$$u(t) = \frac{Q_1 - a_{21}}{b_2} x_1(t) - \frac{a_{22}}{b_2} x_2(t) + \int_0^t \frac{Q_2(s)}{b_2} x_2(t+h-s) ds, t \geq 0.$$

В частности, для системы

$$\dot{x}_1(t) = x_3(t-h) + v(t), x_3(t) = v(t)$$

не существует регулятора простейшего вида, стабилизирующего эту систему. Однако, замыкая ее регулятором

$\check{v}(p) = Q_1^*(p)\check{x}_1(p) + Q_2^*(p)\check{x}_3(p)$ в частотной области, получаем характеристическое уравнение вида

$$0 = \det \begin{bmatrix} p - Q_1^*(p) & -e^{-ph} - Q_2^*(p) \\ -Q_1^*(p) & 1 - Q_2^*(p) \end{bmatrix} = \\ = p - Q_1^*(p) - pQ_2^*(p) - e^{-ph}Q_1^*(p) = p + \alpha, \alpha > 0.$$

Отсюда

$$Q_1^*(p) = Q_1 = -\frac{\alpha}{2}, Q_2^*(p) = \check{Q}_2(p) = \frac{\alpha + Q_1^*(p) + e^{-ph}Q_1^*(p)}{-p} = \frac{\alpha(1 - e^{-ph})}{-2p}.$$

Возвращаясь к оригиналам, получаем искомый стабилизирующий регулятор вида

$$v(t) = -\frac{\alpha}{2} x_1(t) - \frac{\alpha}{2} \int_0^t q(s) x_3(t-s) ds, t \geq 0, \text{ где } q(s) = \begin{cases} 1, & s \in [0, h], \\ 0, & s > h. \end{cases}$$

Рассмотренный пример показывает существенность интегральных элементов при расширении шкалы регуляторов по типу линейной обратной связи.

УДК 519.642

М.В. Чайковский, доц., канд. физ.-мат. наук;
О.А. Архипенко, ст. преп. (БГТУ, Минск)

ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВОЛЬТЕРРА

Рассмотрим задачу Коши для линейного интегро-дифференциального уравнения первого порядка

$$\begin{cases} x'(\tau) + q(\tau)x(\tau) = \int_0^\tau k_1(\tau-t)x(t)dt + \int_0^\tau k_2(\tau-t)x'(t)dt + f(\tau), \\ x(0) = x_0, \end{cases} (1)$$

где $x(\tau)$ есть искомая функция, $x'(\tau)$ – её производная, $q(\tau)$, $f(\tau)$ – заданные функции, $k_v(\tau-s)$ ($v=1, 2$) – известные ядра интегрального

оператора. Предполагается существование и единственность решения данной задачи Коши, а также наличие необходимой гладкости функций, входящих в уравнение (1), обеспечивающей возможность проводимых в дальнейшем преобразований.

Такие интегро-дифференциальные уравнения возникают при решении некоторых практических задач. Особенностью данного интегро-дифференциального уравнения является то, что порядок производной искомой функции в дифференциальном и интегральном операторе совпадают.

Точный метод решения такого рода задач при постоянных коэффициентах в дифференциальном операторе уравнения (1), то есть $q(\tau) = q = const$, возможен с помощью применения аппарата преобразования Лапласа (операционный метод решения). Если ввести следующие обозначения для изображений по Лапласу функций

$$x(\tau) \rightarrow X(p), \quad x'(\tau) \rightarrow pX(p) - x_0, \quad f(t) \rightarrow F(p)$$

и использовать то, что преобразование Лапласа от свертки функций есть произведение свертываемых функций

$$\int_0^{\tau} k_1(\tau - t)x(t)dt \rightarrow K_1(p)X(p), \quad \int_0^{\tau} k_2(\tau - t)x'(t)dt \rightarrow K_2(p)(pX(p) - x_0),$$

то приходим к уравнению для изображения неизвестной функции

$$X(p) = \frac{(1 - K_2(p))x_0 + F(p)}{p(1 - K_2(p)) + q - K_1(p)}.$$

Далее находим обратное преобразование Лапласа от полученного выражения, что и является решением исходной задачи Коши.

В случае, если в дифференциальном операторе коэффициенты не являются постоянными величинами, то операционный метод в общем случае может оказаться неприменимым, так как возникнут трудности нахождения преобразования Лапласа от произведения двух функций, одна из которых неизвестна. Кроме того, часть функций или все функции, входящие в уравнение, могут быть получены из эксперимента (заданы таблично). Это существенно понизит эффективность этого метода в связи с необходимостью численного приближения преобразования Лапласа, как прямого, так и обратного. Для решения задачи (1) в этом случае приходится применять численные методы.

Большинство приближенных методов решения интегро-дифференциальных уравнений сводит исходное уравнение к дифференциальному и численному решению последнего. Это обусловлено, во-первых, тем, что интегральный оператор Вольтерра является не-

компактным оператором, и, во-вторых, что в численных методах решения уравнений Вольтерра имеет место накопление вычислительной погрешности, так как они относятся к явным методам (в отличие от фредгольмовских, для которых характерны неявные методы). В предлагаемой работе строится алгоритм численного решения задачи Коши (1) сведением её к интегральному уравнению Вольтерра и последующему его приближенному решению.

Используя формулу Ньютона-Лейбница, искомая функция выражается через свою производную следующим образом

$$x(\tau) = x_0 + \int_0^{\tau} x'(t) dt. \quad (2)$$

Подставим в (1) вместо $x(\tau)$ правую часть равенства (2)

$$\begin{aligned} x'(\tau) + q(\tau)[x_0 + \int_0^{\tau} x'(t) dt] &= \int_0^{\tau} k_1(\tau - t)[x_0 + \\ &+ \int_0^t x'(s) ds] dt + \int_0^{\tau} k_2(\tau - s)x'(s) ds + f(\tau). \end{aligned}$$

Сделав замену порядка интегрирования в получающемся двойном интеграле

$$\int_0^{\tau} k_1(\tau - t) \left[\int_0^t x'(s) ds \right] dt = \int_0^{\tau} \left[\int_s^{\tau} k_1(\tau - t) dt \right] x'(s) ds$$

и обозначив $x'(\tau) = y(\tau)$ придем к интегральному уравнению

$$y(\tau) = \int_0^{\tau} R(\tau, s)y(s) ds + \Phi(\tau), \quad (3)$$

где $\Phi(\tau) = -x_0 q(\tau) + f(\tau) + x_0 \int_0^{\tau} k_1(\tau - t) dt$, а ядро полученного интегрального уравнения Вольтерра имеет вид:

$$R(\tau, s) = \int_s^{\tau} k_1(\tau - t) dt - q(\tau) + k_2(\tau - s).$$

Будем искать приближенные значения решения $y_j = y(\tau_j)$ интегрального уравнения в равноотстоящих точках $\tau_j = jh$, ($h = const$) некоторого отрезка $[0, T]$: $0 = \tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_j < \tau_{j+1} < \dots < \tau_N = T$. Применим алгоритм последовательного повышения порядка точности, идея которого изложена статье [1]. Для простоты восприятия рассмотрим

метод решения уравнения (3) на первом шаге более подробно. Предварительно отметим, что значение $y(0) = \Phi(0) = -x_0 q(0) + f(0)$. Если применить к интегралу в (3) формулу левых прямоугольников

$$\int_0^{\tau} R(\tau, s) y(s) ds \approx \tau R(\tau, 0) y(0),$$

то первое приближение к решению (в точке $0 \leq \tau \leq h$) равно

$$y^{(0)}(\tau) = \tau R(\tau, 0) y(0) + \Phi(\tau),$$

то есть может быть вычислено по имеющимся данным. Основной недостаток первого приближения заключается в том, что точность его не очень велика. Однако, оно позволяет найти значение в точке τ используя, например, квадратурную формулу трапеции. Тогда первое приближение решения интегрального уравнения

$$y^{(1)}(\tau) = \frac{h}{2} [R(\tau, 0) y(0) + R(\tau, \tau) y^{(0)}(\tau)] + \Phi(\tau).$$

Для последовательного повышения порядка точности можно повторить эту процедуру, но использовать при этом уже имеющееся первое приближение решения интегрального уравнения:

$$y^{(2)}(\tau) = \frac{h}{2} [R(\tau, 0) y(0) + R(\tau, \tau) y^{(1)}(\tau)] + \Phi(\tau). \quad (4)$$

Если достаточно вычислительных ресурсов, то можно проводить эту итерационную процедуру до того момента, пока $\|y^{(i+1)}(\tau) - y^{(i)}(\tau)\| \leq \varepsilon$, где ε – заданная точность вычисления. Здесь неравенство рассматривается по любой допустимой норме в заданных условиях задачи. С учетом того, что $y(\tau) = x'(\tau)$, это может быть и равномерная норма, но в связи с тем, что данные получаются экспериментальным путем предпочтительнее норма в $L_2[0, T]$. Если гладкость используемых функций достаточна, то можно применить и квадратурные формулы более высокого порядка точности, например, Симпсона. При небольшом шаге h достаточно и формулы трапеции, так как для формулы Симпсона придется использовать на каждом шаге приближение решения в трех точках, что по времени более затратно. Кроме того, вычислительная устойчивость формулы трапеции выше, чем Симпсона.

Если вместо τ в формулу (4) подставить $\tau = h$, то получим приближение решения интегрального уравнения в точке $\tau_1 = h$

$$y^{(2)}(h) = \frac{h}{2} \left[R(h, 0)y(0) + R(h, h)y^{(1)}(h) \right] + \Phi(h), \quad (5)$$

то есть найдем приближенное решение уравнения (3) в точке $\tau_1 = 1 \cdot h$. Продолжая итерационную процедуру (5) по формуле

$$y^{(i)}(h) = \frac{h}{2} \left[R(h, 0)y(0) + R(h, h)y^{(i-1)}(h) \right] + \Phi(h), \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

до выполнения условия $|y^{(i+1)}(h) - y^{(i)}(h)| \leq \varepsilon$, принимаем, что

$$y_1 = y(h) \approx y^{(i)}(h)$$

и переходим к процедуре вычисления приближенного решения на следующем шаге. Используя свойство аддитивности определенного интеграла для $h \leq \tau \leq 2h$

$$y(\tau) = \int_0^{\tau_1} R(\tau, s)y(s)ds + \int_{\tau_1}^{\tau} R(\tau, s)y(s)ds + \Phi(\tau) \quad (6)$$

и вышеприведенный алгоритм к этому уравнению, на втором шаге получим итерационный процесс

$$y^{(i)}(2h) = \frac{h}{2} \left[R(2h, 0)y(0) + R(2h, h)y_1 \right] + \frac{h}{2} \left[R(2h, h)y_1 + R(2h, 2h)y^{(i-1)}(2h) \right] + 2\Phi(2h), \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

для нахождения $y_2 = y(2h) \approx y^{(i)}(2h)$. И так далее, что позволит найти все приближенные решения уравнения (3) $y_0, y_1, y_2, \dots, y_N$. Когда получен массив значений производных искомого решения, можно найти приближенные значения $x_k \approx x(\tau_k)$ ($\tau_k = k \cdot h$, $k = \overline{1, N}$) решения задачи Коши (1) в заданных точках

$$x(\tau_k) = x_0 + \int_0^{\tau_k} x'(t)dt = x_0 + \sum_{j=0}^{k-1} \int_{\tau_j}^{\tau_{j+1}} x'(t)dt \approx x_0 + \frac{h}{2} \sum_{j=0}^{k-1} [y_j + y_{j+1}],$$

что и требовалось. Заметим, что точность приближенных квадратурных формул, применяемых для нахождения x_k и y_k , должна быть согласована: воспользовавшись в итерационном процессе для нахождения приближенных решений y_k квадратурной формулой трапеций, не имеет смысла применять квадратурную формулу более высокого порядка точности для нахождения x_k . Также, реализуя данный алгоритм, целесообразно использовать свойства ядер интегрального оператора задачи (1). Например, в случае их быстрого стремления к нулю (то

есть ноль начиная с некоторого шага, что характерно для реальных задач после выхода процесса на стационарный режим) нужно учитывать данный факт в программной реализации, что приводит к сокращению времени вычислений и уменьшению вычислительной погрешности. Этот подход, в частности, был реализован в [2] при численном решении задачи Коши для линейного интегро-дифференциального уравнения второго порядка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янович, Л.А. Об одном численном методе четвертого порядка для решения системы линейных интегро-дифференциальных уравнений вольтерровского типа / Л. А. Янович // Докл. АН БССР. – 1984. – Том 28. – № 4. – С. 293–296.

2. Денисенко, Н.В. Об одном алгоритме численного решения интегро-дифференциальных уравнений аэроупругости, учитывающем особенности ядер интегрального оператора / Н. В. Денисенко, Ф. Д. Ложечник, М. В. Чайковский // Весці АН БССР. Сер. фіз.-мат. навук. – 1990. – № 4. – С. 3–10.

УДК 517.948

С.В. Пономарева, доц., канд. физ.-мат. наук (ГП «Стравита», г. Минск);
О.Н. Пыжкова, зав. кафедрой, канд. физ.-мат. наук (БГТУ, г. Минск)

ДРОБНАЯ ПРОИЗВОДНАЯ ВЕЙЛЯ ПОЧТИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

Почти периодические функции возникли при описании процессов, носящих повторяющийся пространственно-временной характер, в частности, различной природы колебания, движение по замкнутой траектории, экономические явления (как пример, экономические циклы Китчина 3–4 года, циклы Жюгляра 7–11 лет, циклы Кузнеца, 15–25 лет, циклы Кондратьева 45–60 лет).

Как правило, для решения такого рода задач используются периодические функции, как математические идеальные модели происходящих процессов, однако почти периодические функции позволяют получить большую точность описания, хотя и повысят сложность.

Дело в том, что производная почти периодической функции не обязательно снова почти периодична. А что, если эта производная нецелого порядка? Будем исследовать возможности дробного дифференцирования по Вейлю почти периодических функций, при этом использовать результаты, описанные в монографии [1], которая до сих

пор считается одной из лучших в области дробного интегрирования, а также [2] и [3].

Существует несколько неэквивалентных определений почти периодических функций (Бора, Бохнера, Степанова, Безиковича и др.). Будем опираться на определение, данное в [4], где почти периодические функции вводятся как аналог обобщения суммы периодических функций, которые, как известно, могут не быть периодическими с конечным периодом:

Определение. Почти периодической называется непрерывная функция $h(x)$, удовлетворяющая условию: каково бы ни было положительное число ε , можно указать такое положительное число $L=L(\varepsilon)$, что в каждом интервале длины L найдется по крайней мере одно число τ , удовлетворяющее неравенству

$$|h(x + \tau) - h(x)| < \varepsilon. \quad (1)$$

Число $\tau=\tau(\varepsilon)$ называется в таком случае почти периодом, что является обобщением понятия периода для равномерных почти периодических функций. Для обобщенных почти периодических функций вместо модуля в неравенстве (1) используется норма соответствующего функционального пространства.

Сумма почти периодических функций снова почти периодична. Более того, равномерный предел последовательности почти периодических функций снова обладает тем же свойством [см., например, 4]. Основная теорема теории почти периодических функций состоит в том, что выполняется и обратное утверждение:

Теорема 1. Всякая почти периодическая функция является равномерным пределом некоторой последовательности конечных тригонометрических сумм.

В [5], в частности, обосновывается возможность аналога Фейеровской аппроксимации почти периодических функций тригонометрическими многочленами.

Таким образом, можно получить обширный класс почти периодических функций, рассматривая всевозможные равномерные пределы тригонометрических многочленов вида

$$S_n(t) = \sum_{k=1}^n a_k e^{i\lambda_k t},$$

где a_k – комплексные, λ_k – действительные числа. (Это представление – не единственный источник почти периодических функций, см, например, [4]).

Свойством (1), однако, обладают и равномерно непрерывные функции, поэтому для получения банахова пространства почти периодических функций следует брать факторпространство, например, по функциям с нулевым средним по почти периоду.

Приведем еще одно определение, позволяющее определиться с величиной почти периода сразу для целого семейства функций:

Определение. Семейство функций называется равностепенно почти периодическим, если для каждого $\varepsilon > 0$, можно указать такое положительное число $L=L(\varepsilon)$ (не зависящее от индивидуальной функции семейства), что в каждом интервале длины L имеется общий для всех функций ε -почти период.

Для упрощения согласования дальнейших рассуждений с теорией дробного интегрирования Вейля, удобно ввести обозначение пространства почти периодических функций. Обозначим L_{ap} пространство равномерно непрерывных равностепенно почти периодических функций с нормой

$$\|x\|_{ap} = \int_0^{\tau} |x(t)| dt.$$

В [1] и [6] описываются периодические функции, представимые дробным интегралом Вейля. В [6] возможность представления формулируется в терминах наилучших рациональных аппроксимаций функции (это дает достаточное условие для такого представления), в [1] в терминах сходимости по лебеговой норме усеченной дробной производной Маршо. Оба описанных варианта описывают, однако, не саму функцию, а ее аппроксимацию. С учетом исследований, описанных в [5], для функций из пространства L_{ap} могут быть проведены рассуждения, аналогичные исследованиям [1], позволяющие сохранить почти периодичность при дифференцировании.

Напомним определение дробного интеграла Вейля порядка α периодической функции с нулевым средним значением по периоду:

$$I_{\pm}^{(\alpha)} x = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} x(t-s) \Psi_{\pm}^{(\alpha)}(s) ds, \quad \alpha > 0, \quad (2)$$

где $\Psi_{\pm}^{(\alpha)}(t) = 2 \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{\cos\left(kt \mp \frac{\alpha\pi}{2}\right)}{k^{\alpha}}$.

Дробная производная Вейля порядка $0 < \alpha < 1$ для таких же функций определяется равенством

$$D_{\pm}^{(\alpha)}x = \pm \frac{d}{dt} I_{\pm}^{(1-\alpha)}x.$$

Используя вышесказанное, а также то, что конструкция Вейля имеет очевидную аналогию с рядами Фурье, можно ожидать, что при некоторых ограничениях на почти периодические функции дробный интеграл Вейля будет переводить их снова в почти периодические. Рассмотрим в рамках данной работы только функции, представимые дробным интегралом Вейля порядка α ($0 < \alpha < 1$). Для таких функций выполняется

Теорема 2. Пусть $x(t)$ – функция, принадлежащая пространству L_{ap} с нулевым средним значением по почти периоду. Тогда дробная производная по Вейлю порядка α ($0 < \alpha < 1$) $D_{\pm}^{(\alpha)}x$ также является почти периодической функцией.

Утверждение теоремы 2 следует из теоремы 1, свойств дробного интегродифференцирования по Вейлю (см., например, [1], с 266, 278), теоремы 1 и теоремы [6, теорема 2].

Отметим, что в данной работе не обсуждаются тонкости нахождения почти периода, подробно эта тема раскрывается, например, в [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. – Минск: Наука и техника, 1987. – 688 с.
2. Пономарева С.В., Пыжкова О.Н. К вопросу о дробных производных Вейля // Материалы 85-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 1–13 февр. 2021 г. – Минск, 2021. – С. 143–145.
3. Пономарева С.В., Пыжкова О.Н., Ромащенко Г.С. Проблема выбора вида производных дробного порядка для периодических функций // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. – 2023. – № 2 (272). – С. 5–8.
4. Левитан Б.М. Почти-периодические функции / Б.М. Левитан. – М.: ГИТТЛ, 1953. – 396 с.
5. Шубин, М.А. Почти-периодические функции и дифференциальные операторы с частными производными, УМН, 1978, том 33, выпуск 2, 3–47.
6. Старовойтов, А.П. О представлении функций дробными интегралами Вейля. / Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины, № 6(81), 2013. С. 84–89.

О ВЫЧИСЛЕНИИ КРИТИЧЕСКИХ ДЛИН ГРАНИЧНЫХ ЗАДАЧ

Рассмотрим линейную граничную задачу для системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка вида:

$$\begin{cases} y_1' = a_{11}(t)y_1 + a_{12}(t)y_2 + f_1(t), \\ y_2' = a_{21}(t)y_1 + a_{22}(t)y_2 + f_2(t), \end{cases} \quad (1)$$

с обобщенными граничными условиями

$$\begin{cases} \alpha_1 y_1(0) + \beta_1 y_2(0) = \gamma_1, & \alpha_1^2 + \beta_1^2 = 1, \\ \alpha_2 y_1(x) + \beta_2 y_2(x) = \gamma_2, & \alpha_2^2 + \beta_2^2 = 1, \end{cases} \quad (2)$$

где $0 \leq t \leq x$ и $x > 0$ – правая подвижная граница отрезка интегрирования.

Обозначим через $z(t)$ фундаментальную матрицу для системы уравнений (1).

Определение. Задача (1,2) имеет единственное решение для $\forall x$, если выполняется условие:

$$D(x) = \alpha_1(z_{12}(x)\alpha_2 + z_{22}(x)\beta_2) - \beta_1(z_{11}(x)\alpha_2 + z_{21}(x)\beta_2) \neq 0,$$

где $z_{ij}(x)$ – элементы матрицы $z(x)$.

Определение. Минимальное положительное число x^* , удовлетворяющее условию $D(x) = 0$, называется критической длиной задачи (1,2).

Остальные значения, которые также удовлетворяют условию $D(x) = 0$, называются псевдокритическими длинами исходной задачи. Для решения данной задачи, переформулируем ее в виде совокупности трех задач Коши вида:

$$\theta' = (a_{11}(t) - a_{22}(t)) \sin \theta \cos \theta + a_{21}(t) \cos^2 \theta - a_{12}(t) \sin^2 \theta = 0, \quad (3)$$

с начальными условиями вида

$$\sin \theta(0) = \alpha_1, \quad \cos \theta(0) = \beta_1 \quad (4)$$

Далее, вычислив значение $\theta(x)$, приступаем к решению второй задачи Коши, используя прямую прогонку.

$$u' = b_{11}(t)u + c_1(t), \quad (5)$$

с начальными условиями

$$u(0) = \gamma_1. \quad (6)$$

Задачи Коши вида (3,4) и (5,6) можно решать методом дифференциальной ортогональной прогонки в прямом направлении, а третью задачу Коши вида

$$v' = b_{21}(t)u + b_{22}(t)v + c_2(t) \quad (7)$$

с начальными условиями

$$v(x) = \cos \theta(x)y_1(x) - \sin \theta(x)y_2(x) \quad (8)$$

решаем в обратном направлении.

Полученные три задачи Коши легко решить, используя, например, метод Рунге-Кутты четвертого порядка точности. А критическое и остальные псевдокритические решения исходной граничной задачи (1,2) можно вычислить, применяя правило:

$$y_1(t) = v(t) \cos \theta(t), \quad y_2(t) = v(t)(-\sin \theta(t)) \quad (9)$$

Известно, что во всех вычислительных процедурах критическая длина представляет собой точку, в которой уравнение Риккати терпит разрыв первого рода. При переходе от решения исходной граничной задачи к решению совокупности трех задач Коши уравнение Риккати вообще не используется, что значительно облегчает вычислительный процесс. Этот переход осуществляется с помощью ортогональных преобразований и обеспечивает хорошие вычислительные свойства предложенного выше алгоритма.

Рассмотрим первую задачу Коши вида (3,4). Решаем ее в прямом направлении. Для решения задач Коши существует широкий набор хорошо развитых и часто применяемых методов их численного решения, обладающих, например, В-устойчивостью или Д-устойчивостью. Сюда можно отнести асимптотические, двусторонние и другие специализированные методы, учитывающие характер изменения решения.

Вычислим положительное решение уравнения

$$\Delta(x) = 0, \quad (10)$$

где $\Delta(x) = \alpha_2 \cos \theta(x) - \beta_2 \sin \theta(x)$.

Уравнение (10) можно решить по методу секущих, вычисляя при этом n -е приближение к искомому корню на отрезке $[a, b]$ по формуле:

$$x_n = \frac{a \Delta(x_{n-1}) - x_{n-1} \Delta(a)}{\Delta(x_{n-1}) - \Delta(a)}, \quad n = 1, 2, 3, \dots,$$

если выполняется условие

$$\Delta(a) \Delta''(x) > 0.$$

В качестве начального приближения в этом случае берем конец отрезка, точку $x_0 = b$.

Проводя аналогичные вычисления, можно заметить, что последовательность полученных чисел x_n ($n=1,2,\dots$) сходится к корню \bar{x} , т.е. $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = \bar{x}$. Если $\Delta'(x) > 0$, то абсолютная погрешность определяется по формуле

$$|\bar{x} - x_n| \leq \frac{|\Delta x_n|}{\mu},$$

где $\mu = \min_{a \leq x \leq b} |\Delta'(x)|$.

По такому же принципу определяются и остальные псевдокритические длины.

Далее переходим ко второму уравнению прямого направления метода дифференциальной ортогональной прогонки, т.е. рассматриваем задачу Коши (5,6). Если правая часть $f_i(t) \equiv 0$ и $\gamma_i = 0$, то $u(t) = 0$.

Определяем нетривиальное решение системы уравнений:

$$\begin{cases} \sin \theta(x) y_1(x) + \cos \theta(x) y_2(x) = 0, \\ \alpha_2 y_1(x) + \beta_2 y_2(x) = 0 \end{cases}$$

Нормируем найденные значения $y_1(x)$ и $y_2(x)$ по правилу

$$|y_1(x)| + |y_2(x)| = 1.$$

Решаем третью последнюю задачу Коши вида (7,8). Используя метод Рунге–Кутты четвертого порядка точности, находим искомые значения.

Вычисляем критическое и псевдокритическое решение $y_1(x)$ и $y_2(x)$ по формулам (9), обходя, за счет перехода к задачам Коши, громоздкие системы со множеством неизвестных.

УДК 519.71

И.К. Асмыкович, доц., канд. физ.-мат. наук (БГТУ, г. Минск)

О МИНИМАЛЬНЫХ ПОЛЯХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В качественной теории управления линейными динамическими системами при решении проблемы о возможности управления состоянием системы в том или ином смысле важно выяснить вопрос о минимальных требованиях на входные устройства, т.е. решить задачу о минимальном числе входов [2, 3] или в более широком смысле задачу о минимальных полях регулирования [1]. Такая задача для управляе-

мости и наблюдаемости обыкновенных динамических систем и систем с отклоняющимся аргументом при отсутствии и наличии ограничений на входные устройства, широко рассмотрена в работах Марченко В.М. (подробности см. в [2, 7]). Им же были получены алгоритмы построения соответствующих матриц. Решение задачи о минимальном числе выходных устройств, обеспечивающий соответствующую наблюдаемость, обычно получается из принципа двойственности при рассмотрении соответствующей задачи управляемости [2, 3]. Отметим, что вопрос о минимальном числе входов для структурной управляемости обыкновенных систем [2] остается открытым.

При разработке динамических моделей физических процессов и систем управления технологическими и экономическими процессами необходимо учитывать, как дифференциальные, так же алгебраические и логические связи, а во многих случаях и эффекты последствия, которыми нельзя пренебречь. Кроме того, в системе могут объединяться как процессы непрерывного действия, так и дискретные процессы, а также возможно включение логических и случайных компонент. Адекватной моделью таких процессов являются гибридные системы, в частности, дескрипторные динамические системы с отклоняющимся аргументом. Такие системы называют либо вырожденными, либо сингулярными, либо системами неразрешенными относительно производной, либо системами с обобщенным пространством состояний, либо дескрипторными, причем последнее название превалирует [4, 5]. По нашему мнению, это название наиболее точно отражает специфику таких систем.

Для дескрипторных систем эта задача минимальных полей регулирования усложняется в связи с трудностями определения понятия состояния таких систем, их однозначной разрешимости, введением разных типов управляемости для регулярных дескрипторных систем и недостаточной разработанной теорией управляемости для линейных дескрипторных систем с отклоняющимся аргументом.

Рассмотрим линейную дескрипторную систему

$$\begin{aligned} S\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t), \\ Sx(0) &= Sx_0, \quad \det S = 0, \end{aligned} \tag{1}$$

которую будем полагать регулярной, т.е.

$$\exists \lambda_0, \text{ т тако что } \det[\lambda_0 S - A] \neq 0 \tag{2}$$

Известно [5,8], что при условии (2) система (1) для совместимых начальных условий имеет решение причем оно единственное. Рассмотрим для такой системы задачу о нахождении минимального числа входов для некоторых видов управляемости.

Определение 1. Система полностью управляема (С-управляема), если она может достигнуть любого конечного состояния из любого начального состояния.

Определение 2. Система называется управляемой во множестве достижимых состояний (R-управляемой), если она может достигнуть любого состояния во множестве допустимых состояний из любого совместимого начального состояния.

Если записать систему в стандартной канонической форме или [4] (EF1), т.е.

$$\dot{x}_1(t) = Lx_1(t) + B_1u(t) \quad (3)$$

$$N\dot{x}_2(t) = x_2(t) + B_2u(t) \quad (4)$$

то из критериев полной управляемости [4] и результатов по минимальному числу входов для обыкновенных систем [2] следует утверждение

Теорема 1. Минимальное число входов r^0 для обеспечения полной управляемости системы (1) равно сумме числа нетривиальных инвариантных многочленов матриц L и N и справедливо неравенство $r^0 \geq n - \text{rank}S$.

Отметим, что в регулярной системе (1), (2) можно выполнить неособое преобразование [5]

$$y(t) = \exp(\lambda_0 t)x(t) \quad (5)$$

и привести систему (1) к виду

$$(\lambda_0 S - A)^{-1} S \dot{y} = y + (\lambda_0 S - A)^{-1} B e^{\lambda_0 t} u(t),$$

т.е.

$$\tilde{S} \dot{y} = y + \tilde{B} \tilde{u}(t). \quad (6)$$

Такая запись системы называется [5] третьей эквивалентной канонической формой (EF3).

Используя результаты работы [6], что система (1) полностью управляема тогда и только тогда, когда полностью управляема симметричная система

$$\begin{aligned} A\dot{x}(t) &= Sx(t) + Bu(t), \\ Sx(0) &= Sx_0, \quad \det S = 0, \end{aligned}$$

получаем утверждение:

Теорема 2. Минимальное число входов r^0 для обеспечения полной управляемости системы (1) равно числу нетривиальных инва-

риантных многочленов матрицы $(\lambda_0 S - A)^{-1} S$, где λ_0 число из условия (2) и $r^0 \geq n - \text{rank} S$.

Для управляемости во множестве достижимых состояний (R -управляемости) доказан целый ряд достаточных условий, в том числе и что необходимым и достаточным условием является полная управляемость подсистемы медленных движений, т.е. системы

$$\dot{x}_1(t) = Lx_1(t) + B_1 u(t)$$

Это означает справедливость

Теорема 3. Минимальное число входов r^0 для обеспечения управляемости во множестве достижимых состояний системы (1) равно числу нетривиальных инвариантных многочленов матрицы L .

В теории управления дескрипторными системами важную роль играет импульсная управляемость, или управляемость в бесконечности т.е. управляемость подсистемы быстрых движений. Отсутствие импульсной составляющей является одним из требований для обеспечения устойчивости дескрипторной системы и возможности ее приведения с помощью линейной обратной связи по состоянию к обыкновенной системе, что названо [4] нормализуемостью системы. Известно несколько критериев импульсной управляемости [4], в том числе и полная управляемость подсистемы

$$N\dot{x}_2(t) = x_2(t) + B_2 u(t).$$

Тогда можно доказать

Теорема 4. Минимальное число входов r^0 для обеспечения импульсной управляемости системы (1) равно числу нетривиальных инвариантных многочленов матрицы N .

Аналогичные задачи можно рассматривать для дескрипторных систем с запаздыванием [3, 8] с соответствующими изменениями понятий управляемости и наблюдаемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лётов А.М. Математическая теория процессов управления. – М.: Наука, 1981. – 255 с.
2. Асмыкович И.К., Габасов Р., Кириллова Ф.М., Марченко В.М. Задачи управления конечномерными системами // Автоматика и телемеханика. – 1986. – № 11. – С. 5–29.
3. Асмыкович И.К. О задачах качественной теории управления для дескрипторных систем с запаздыванием // Труды БГТУ. – В. 5. Физ.-мат. науки и информатика. – Минск, 1997. – С. 3–14.
4. Дескрипторные системы управления: библиографический

указатель / сост. И.К Асмыкович. – Минск: БГТУ, 2022. – 343 с.

5. Duan G.R. Analysis and design of descriptor linear systems. Berlin: Springer, 2010.

6. Булатов В.И. Об одном свойстве управляемых линейных систем не разрешенных относительно производной // Вестн. БГУ, сер.1 – 1989. – № 1. – С. 63–64.

7. Марченко В.М. Минимальное число входов линейных управляемых систем // Дифференц. уравнения. – 1974. – Т. 10, № 10. – С. 1789–1796.

8. Асмыкович И.К. О некоторых задачах математической теории управления для линейных дескрипторных систем // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы Межд. науч.-техн. конф. – Минск: БГТУ, 2018. – С. 101–104.

УДК 336

И.В. Захаркевич, студ.;
В.В. Крахотко, доц., канд. физ.-мат. наук
(БГУ, г. Минск)

ЗАДАЧА ВЕКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА ПОРТФЕЛЯ ЦЕННЫХ БУМАГ

В докладе рассматриваются основные аспекты многокритериального анализа в контексте инвестиций, а также различные методы и подходы к решению многокритериальных задач, позволяющие эффективно учитывать разнообразие факторов, влияющих на процесс принятия инвестиционных решений.

Портфель ценных бумаг – это определенная совокупность финансовых активов, объединенных инвестором для реализации поставленных целей: чаще всего, для максимизации прибыли и минимизации убытков. Использование модели Марковица [1] предполагает только стандартные портфели, которые состоят из реально купленных акций.

Математическая модель портфеля ценных бумаг Марковица имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{j=1}^n x_j \rho_{ij} \rightarrow \min, \quad \sum_{i=1}^n x_i r_i \rightarrow \max, \\ \sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad x_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где x_i, x_j – доли i -ого и j -ого актива соответственно; ρ_{ij} – коэффициент корреляции между i, j -м активом; r_i – доходность i -го актива в портфеле.

Эта модель находит широкое применение среди финансовых брокеров, которые, выступая в роли финансовых консультантов, ис-

пользуют математические вычисления для определения доходности различных инвестиционных портфелей. Таким образом, теория Марковица позволяет эффективно управлять инвестициями, учитывая их доходность и уровень риска.

Очевидно, двухкритериальную модель (1) можно свести к однокритериальной задаче [2]:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{j=1}^n x_j \rho_{ij} &\rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^n x_i r_i = m, \sum_{i=1}^n x_i &= 1, x_i \geq 0, i = \overline{1, n}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где m – выбранное инвестором значение эффективности портфеля.

Пример. Предположим, у нас есть компания, которая хочет вложить часть своего капитала в акции известных компаний. На основании собранных данных о доходности 8 компаний за последние 5 лет, необходимо принять решение о будущих вложениях компании. Нужно сформулировать многокритериальную задачу оптимизации финансового портфеля с доходами в 10%, 15%, 20% и найти риск портфеля и его средний доход. Данные о доходностях представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Доходность по акциям компаний

Компания	Доходность по акциям компаний, %					Средняя доходность, %
	2018	2019	2020	2021	2022	
Газпром	24.5	79.6	-10.0	67.9	-37.7	24.86
ВТБ	-23.3	39.3	-15.6	31.0	-66.0	-34.60
Газпромнефть	53.6	29.0	-18.9	89.3	1.2	30.84
Лукойл	57.4	31.0	-9.6	37.2	-26.0	18.00
Магнит	-40.8	2.0	80.4	10.3	-20.3	6.32
Мосэнерго	-15.6	18.8	-3.4	9.7	-7.2	0.46
Сбербанк	-12.4	46.0	16.2	14.6	-51.9	0.50
Абрау Дюрсо	-0.2	-0.8	44.6	-1.9	0.2	8.38

Для решения нам нужно составить таблицу ковариаций для всех возможных пар компаний. Ковариация между двумя компаниями считается по формуле $\rho_{ij} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / (n - 1)$, где x_i, y_i – доходности ценных бумаг в период i , \bar{x}, \bar{y} – средние значения доходностей x и y , n – количество периодов.

Ковариация может принимать положительные и отрицательные значения. Положительная ковариация указывает на тенденцию двух переменных (в данном случае, доходности ценных бумаг) изменяться в одном направлении, тогда как отрицательная ковариация указывает на обратную тенденцию. Посчитанные значения ковариации для всех возможных пар компаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Взаимная дисперсия

	Газ пром	ВТБ	Газ-пром-нефть	Лукойл	Магнит	Мосэнерго	Сбербанк	Абрау Дюрсо
Газпром	1047	2946	1199	1048	-772	404	1166	-338
ВТБ	2946	2248	788	705	330	390	1217	-101
Газпром нефть	1199	985	1458	934	-746	112	244	-468
Лукойл	1048	881	934	958	-542	45	445	-259
Магнит	-772	413	-746	-542	1690	126	606	661
Мосэнерго	404	487	112	45	126	151	303	-41
Сбербанк	1166	1521	244	445	606	303	1086	109
Абрау Дюрсо	-338	-101	-468	-259	661	-41	109	328

Для дальнейшего решения воспользуемся моделью (1), где в качестве ρ_{ij} используем посчитанные нами ковариации, а в качестве r_i – средние доходности. Для нахождения оптимального финансового портфеля с доходами в 10%, 15%, 20%, воспользуемся математической моделью (2). Для решения были использованы некоторые команды, встроенные в язык Python специальными пакетами.

Решение примера методом линейной свёртки. При $\lambda = 0.2$: оптимальная доходность = 0.0855, оптимальный риск = 0.5837; $\lambda = 0.4$: оптимальная доходность = 0.0886, оптимальный риск = 0.5850; $\lambda = 0.6$: оптимальная доходность = 0.0946, оптимальный риск = 0.5916; $\lambda = 0.8$: оптимальная доходность = 0.1121, оптимальный риск = 0.6392; $\lambda = 1$: оптимальная доходность = 0.3084, оптимальный риск = 14.5800.

Решение примера методом сведения к однокритериальной задаче (2). При целевой доходности 0.1: риск портфеля: 0.7756451322029986. При целевой доходности 0.15: риск портфеля: 0.9508242050853548. При целевой доходности 0.2: риск портфеля: 1.5262446522872992.

Зависимость риска от доходности для двух методов решения одинаковая: чем больше доходность, тем больше риск. Оба метода решения задачи приводят к практически одинаковым результатам.

Отметим, что анализ различных методов многокритериального анализа позволяет выделить их преимущества и ограничения, а также определить области их оптимального применения. В процессе исследования стало ясно, что учет множества критериев в инвестиционном моделировании способствует более полному и точному представлению о рисках и возможностях, с которыми сталкиваются инвесторы. Однако следует отметить, что каждый метод имеет свои предпосылки

и требования, и выбор подходящего зависит от конкретной ситуации и целей инвестора.

Таким образом, дальнейшие исследования в этом направлении позволят рассмотреть ключевые аспекты и проблемы, связанные с применением многокритериального анализа в сфере инвестиций, и предложить практические рекомендации для инвесторов, стремящихся принимать информированные и обоснованные решения в условиях сложной финансовой среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малюгин, В.И. Рынок ценных бумаг: Количественные методы анализа: Учеб. пособие. – М.: Дело, 2003. – 164 с.

2. Подиновский, В.В. Оптимизация по последовательно применяемым критериям / В.В. Подиновский, В.М. Гаврилов – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 194 с.

УДК 517.977

М.А.Закривидорога, студ.;
В.В. Крахотко, доц., канд. физ.-мат. наук (БГУ, г. Минск)

УПРАВЛЯЕМОСТЬ СТАЦИОНАРНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ИНТЕРВАЛЬНЫХ СИСТЕМ. ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

В докладе рассматривается проблема управляемости линейных интервальных систем. Приводятся двусторонняя оценка фундаментальной матрицы решений и оценка пучка траекторий при заданном управлении. Требования принадлежности внешней оценки минимальной ε - окрестности конечного бруса рассматриваются в виде задачи линейного программирования [1]. Решён ряд примеров.

Рассмотрим систему

$$\dot{x} = Ax(t) + Bu(t), x(0) \in X_0, x(t_1) \in X_1, 0 \leq t \leq t_1, \quad (1)$$

$x \in R^n, u \in R^r$ – векторы состояния и управления соответственно;
 $A \in R^{n \times n}, B \in R^{n \times r}$ – постоянные матрицы, удовлетворяющие неравенствам $\underline{A} \leq A \leq \bar{A}, \underline{B} \leq B \leq \bar{B}$, называются допустимыми,
 $X_m = \{x \in R^n : \underline{x}^m \leq x \leq \bar{x}^m\}, m = 0, 1$ – заданные брусы в R^n .

Рассмотрим управления $u(t) = u^k, \tau_{k-1} \leq t < \tau_k, k = 1, 2, \dots, s$, с фиксированными моментами разрыва $0 = \tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_s = t_1$ и векторными параметрами u^1, u^2, \dots, u^s из множества $U \in R^r$, которое определяется конечной системой неравенств.

Пусть $u(t)$ – некоторое управление и $X(t_1)$ – соответствующее множество фазовых состояний $x(t_1)$ системы (1) в момент времени $t = t_1$.

Требуется установить условия существования управления $u(t) \in U, 0 \leq t \leq t_1$, при котором выполняется включение $X(t_1) \subset X_1$. В таком случае, можно говорить об управляемости системы (1).

Используя формулу Коши для системы (1), найдём внешнюю [2] интервальную оценку $P(t_1)$ множества $X(t_1)$ в виде:

$$P(t_1) = \left\{ x \in R^n : \begin{array}{l} \underline{d} + \sum_{k=1}^n (C_{k0} u^k - \Delta C_{k0} |u^k|) \leq x \leq \\ \bar{d} + \sum_{k=1}^n (C_{k0} u^k + \Delta C_{k0} |u^k|) \end{array} \right\},$$

где векторы \underline{d}, \bar{d} и матрицы $C_{k0}, \Delta C_{k0}$ вычисляются по параметрам системы (1).

Обозначим ε произвольный неотрицательный вектор из R^n и $X_{1,\varepsilon} = \{x \in R^n : x^1 - \varepsilon \leq x \leq x^1 + \varepsilon\}$ замкнутую окрестность бруса X_1 .

Включение $X(t_1) \subset X_{1,\varepsilon}$ будет выполнено, если $P(t_1) \subset X_{1,\varepsilon}$ или

$$\begin{aligned} \underline{d} + \sum_{k=1}^n (C_{k0} u^k - \Delta C_{k0} |u^k|) &\geq \underline{x}^1 - \varepsilon, \\ \bar{d} + \sum_{k=1}^n (C_{k0} u^k + \Delta C_{k0} |u^k|) &\leq \bar{x}^1 + \varepsilon. \end{aligned}$$

Составим по последним неравенствам задачу линейного программирования

$$\begin{aligned} e' \varepsilon &\rightarrow \min, \\ -\sum_{k=1}^n (C_{k0} u^k - \Delta C_{k0} \omega^k) - \varepsilon &\leq \underline{d} - \underline{x}^1, \\ \sum_{k=1}^n (C_{k0} u^k + \Delta C_{k0} \omega^k) - \varepsilon &\leq -\bar{d} + \bar{x}^1, \\ \varepsilon &\geq 0, \quad u^k \in U, \quad |u^k| \leq \omega^k, \quad k = 1, 2, \dots, s, \end{aligned} \quad (2)$$

с неизвестными ε, u, ω . В этой задаче множество планов непусто и целевая функция ограничена на нем снизу, поэтому оптимальный план существует.

Теорема. Для управляемости системы (1) в классе кусочно-постоянных управлений достаточно, чтобы разрешимая задача линейного программирования (2) имела оптимальный план $\varepsilon^0, u^0, \omega^0$, с $\varepsilon^0 = 0$. При этом управление переводит пучок траектории системы из X_0 в минимальную ε – окрестность X_1 .

Пример 1.

Рассмотрим систему (1) с параметрами $s = 5, |u| \leq 1, t \in [0, 3]$,

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \leq A \leq \begin{bmatrix} 0 & 3 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \leq b \leq \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} \leq x_0 \leq \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} 20 \\ 2 \end{bmatrix} \leq x^1 \leq \begin{bmatrix} 21 \\ 3 \end{bmatrix}.$$

Формируем и решаем задачу линейного программирования (2) и строим траектории (рис. 1–2).

Решение задачи (2)

$$\varepsilon^0 = \begin{bmatrix} 12.2925 \\ 0.7075 \end{bmatrix}, \quad u^0 = [0.1219, 0.1234, 0.1867, 0.3019, 0.4453].$$

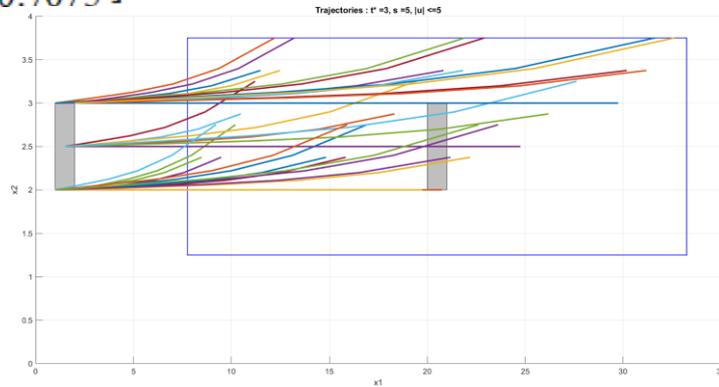


Рисунок 1 – Траектории при $|u| \leq 1$

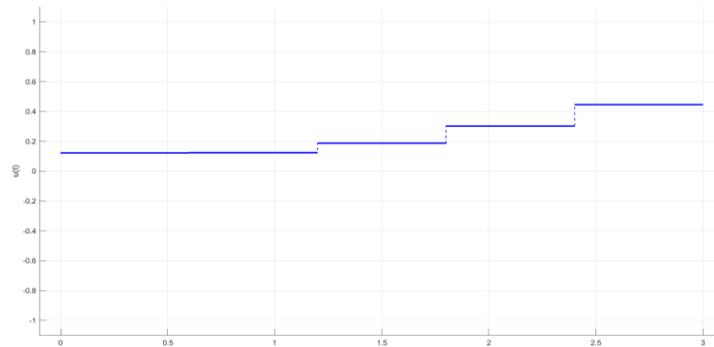


Рисунок 2 – Управление

Пример 2.

Рассмотрим систему (1) с параметрами $s = 5$, $|u| \leq 5$, $t \in [0, 3]$,
 $\begin{bmatrix} -0.0055 & 0.995 \\ -1.0055 & -0.0055 \end{bmatrix} \leq A \leq \begin{bmatrix} 0.0055 & 1.0045 \\ -0.9945 & 0.0055 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \leq b \leq \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix}$,
 $\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} \leq x_0 \leq \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 20 \\ 2 \end{bmatrix} \leq x^1 \leq \begin{bmatrix} 21 \\ 3 \end{bmatrix}$.

Формируем и решаем задачу линейного программирования (2) и строим траектории (рис. 3–4).

$$\text{Решение задачи (2)} \quad \varepsilon^0 = \begin{bmatrix} 14.3796 \\ 5.7182 \end{bmatrix}, \quad u^0 = [-5, -4.6728, 0, 5, 5].$$

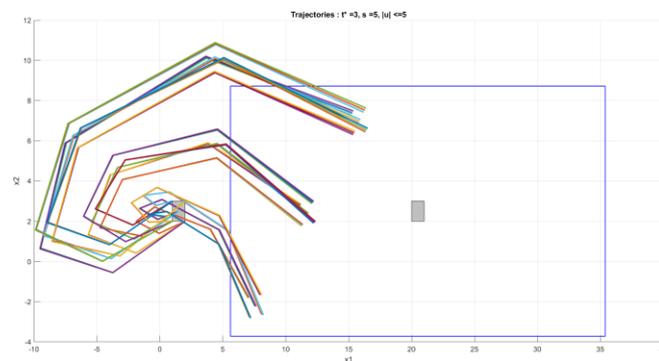


Рисунок 3 – Траектории при $|u| \leq 5$

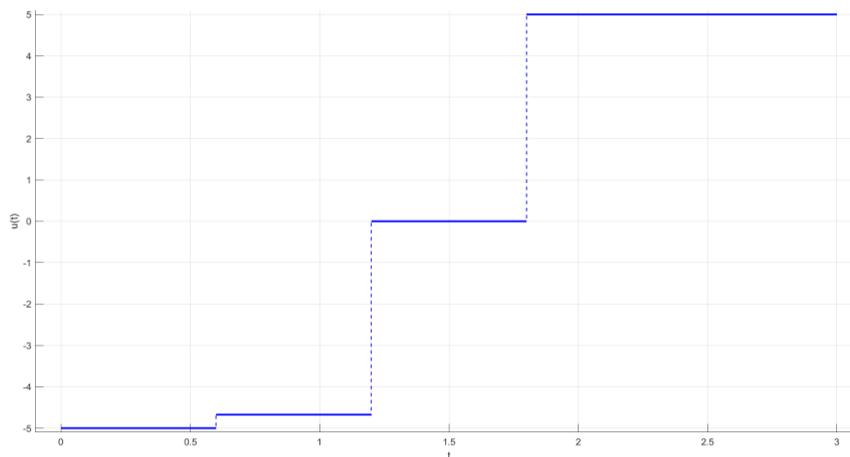


Рисунок 4 – Управление

Можно сделать вывод, что ограничение на управление непосредственно влияет на поведение траекторий и минимальную окрестность конечного бруса.

Заметим, что одним управлением мы переводим пучок траекторий на конечный брус. Попадание в точку – это исключительный случай. Если $\varepsilon^0 \neq 0$, то найденное управление, переводит пучок траекторий в минимальную окрестность конечного бруса.

Часто на практике в задачах управления параметры систем известны лишь в той или иной степени точности. Одновременная управляемость класса таких систем получила название “робастная управляемость”. Наряду с робастной управляемостью в рамках интервального анализа имеет место понятие интервальная управляемость. Различие между этими понятиями заключается в том, что в случае робастной управляемости требуется управление всех систем при всевозможных реализациях параметров, а интервальная управляемость накладывает ограничения на поведение решений интервальной системы как единого целого в интервальной арифметике [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ащепков Л.Т. Внешние оценки и ступенчатая управляемость интервальной линейной системы / Л.Т.Ащепков // Автоматика и телемеханика. – 2008. – № 4. – С. 51–58.
2. Ащепков Л.Т. Универсальные решения интервальных задач оптимизации и управления / Л.Т. Ащепков, Д.А. Давыдов. – М.: Наука, 2006. – 151 с.
3. Шарый С.А. Конечномерный интервальный анализ. – Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2013. – [Электронная книга] – Режим доступа: <http://www.nsc.ru/interval/Library/InteBooks/Shary Book.pdf>.

**ПЕРИОДЫ КОЛЕБАНИЙ НАСЕЛЕННОСТЕЙ УРОВНЕЙ
КВАНТОВЫХ СИСТЕМ, КОГЕРЕНТНО ВОЗБУЖДАЕМЫХ
ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Обобщен представленный нами ранее дискретный спектральный алгоритм (ДСА) точного решения дифференциальных уравнений, описывающих возбуждение квантовых систем (КС) – моделей атомов, молекул лазерным излучением.

Эта задача Раби, как полуклассическая, так и квантовая, одна из фундаментальных моделей квантовой механики, уже более 80 лет пользуется вниманием исследователей. Она лежит в основе квантовых технологий: лазерное разделение изотопов, управление химическими реакциями, создание квантовых компьютеров и квантовой криптографии и др.

Дискретный спектральный алгоритм использует два сопряженных пространства. Это физическое пространство энергия – время с динамическими уравнениями (в безразмерных переменных):

$$-i \frac{da_n(t)}{dt} = f_{n+1} e^{-i\varepsilon_{n+1}t} a_{n+1}(t) + f_n e^{+i\varepsilon_n t} a_{n-1}(t); \quad a_n(t=0) = \delta_{n,0}; \quad n = \overline{0, N}; \quad (1)$$

для искомых функций $a_n(t)$ – амплитуд вероятности найти КС на энергетическом уровне E_n в момент времени t . Коэффициенты $\{f_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2\}$, ($f_1 = 1$) уравнений представляют характеристики возбуждаемой трехуровневой КС: дипольные моменты обоих переходов $E_0 \rightleftharpoons E_1 \rightleftharpoons E_2$ и отстройки $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ частоты излучения от собственных частот переходов. Вторым пространством является дискретное Фурье пространство функций $a_n(t)$. Для КС с числом радиационных переходов $N > 2$ описание и решение аналогичны. Пространство Фурье полностью задается спектральной функцией $\sigma(x) = \{\sigma_0(x_0), \sigma_1(x_1), \sigma_2(x_2)\}$ дискретного аргумента $x = \{x_0 = 0; x_1 = 1; x_2 = c\}$. Нормировка

$\sum_{n=0}^{N-2} \sigma_n(x_n) = 1$ влечет $\sigma_0 = 1 - \sigma_1 - \sigma_2$. Значения x_0 и x_1 – начало отсчета и единица масштаба на оси частот Фурье. Спектральное пространство также определяется тремя величинами $\{\sigma_1 = a; \sigma_2 = b; x_2 = c\}$. Обобщение ДСА путем замены конкретных числовых значений непрерывными параметрами приводит к решению

для трехпараметрического семейства КС с разнообразными спектральными и физическими характеристиками $\{f_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2\} \Leftrightarrow \{a, b, c\}$.

Полигармонические режимы колебаний КС. ДСА приводит к точному аналитическому решению уравнений и дискретному вероятностному распределению частиц по уровням. Их анализ показал, что КС, не подверженные внешнему воздействию, демонстрируют *детерминированные полигармонические* колебательные режимы с тремя или двумя гармониками. Одни КС, параметр c которых выражен рациональным числом, совершают *периодические* колебания, другие КС с иррациональным c обладают неперiodическими колебаниями. Частоты первых КС взаимно соизмеримы. Частоты вторых не соизмеримы.

Особенности функции, описывающей период полигармонических колебаний. Функция $T_{SB}(c)$ зависит от параметра-аргумента $c > 1$. Меняя его значение, мы получаем периоды различных КС. Период определяется натуральным числом M :

$$T_{SB}\left(c = \frac{p}{q}\right) = rt = 2\pi M, \quad M = \min\{q, pq, |p - q|q\} \in \mathbb{N};$$

$$T_{SB}(c \in \mathbb{R} \setminus \mathbb{Q}) = rt = 2\pi M, \quad M = \infty$$
(2)

для КС со спектральным параметром в виде рационального числа, а для КС с иррациональным c , период бесконечен. Функция $T_{SB}(c)$ имеет бесконечное количество разрывов-скачков в точках $c \in \mathbb{Q}$, принадлежащих подмножеству рациональных, в том числе целых чисел. Период колебаний в этих точках конечен, где rt – собственное время КС. Величина $M(c)$ определяется дробной частью числа c . КС, обладающие иррациональным c , имеют бесконечные разрывы, «период» формально бесконечен. График функции $T_{SB}(c)$ построить невозможно, ее значения в некоторых точках представлены в таблице.

Таблица – Период колебаний населенностей уровней ($N = 2$)–КС, обладающих различными значениями спектрального параметра c

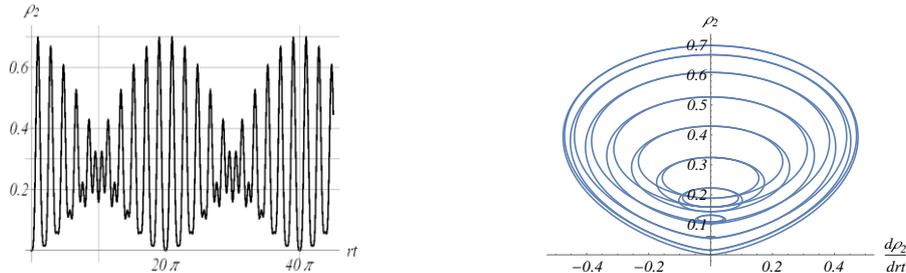
c	2.0; 3.0	$2\frac{1}{2}$ $3\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{3}$	$2\frac{1}{5}$ $2\frac{4}{5}$	$2\frac{1}{7}$	$2\frac{1}{10}$ $2\frac{7}{10}$	2.04 2.08	2.02 2.06	2.01 2.99	$\sqrt{3}, \sqrt{8}, \sqrt{10},$ $\sqrt{11}, \sqrt{15}$
M	1	2	3	5	7	10	25	50	100	∞

КС с параметром c , имеющим малые дробные части, обладают большими периодами. Между рациональными числами расположено много иррациональных, а такие КС демонстрируют неперiodические колебания. Для подобных необычных функций и процессов природы особенность числа быть носителем не только количественного, но и

качественного свойства принципиально важно. Важная характеристика динамических режимов квантовых микрочастиц описывается функцией подобного вида. Рассмотрим примеры. Аналитический расчет и рисунки выполнены с помощью системы компьютерной алгебры «Mathematica».

КС с периодическим полигармоническим режимом колебаний населенностей. ($n = 2$) – КС; $c = 2.1, a = 0.4, b = 0.5, M = 10$.

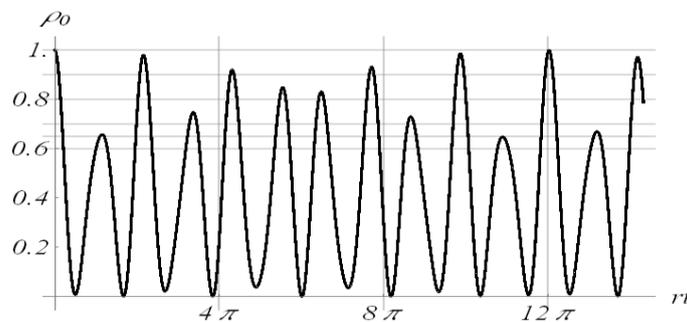
$$\rho_2 = (4/5025)(331 - 231\text{Cos}(rt) - 210\text{Cos}(1.1rt) + 110\text{Cos}(2.1rt)). \quad (3)$$



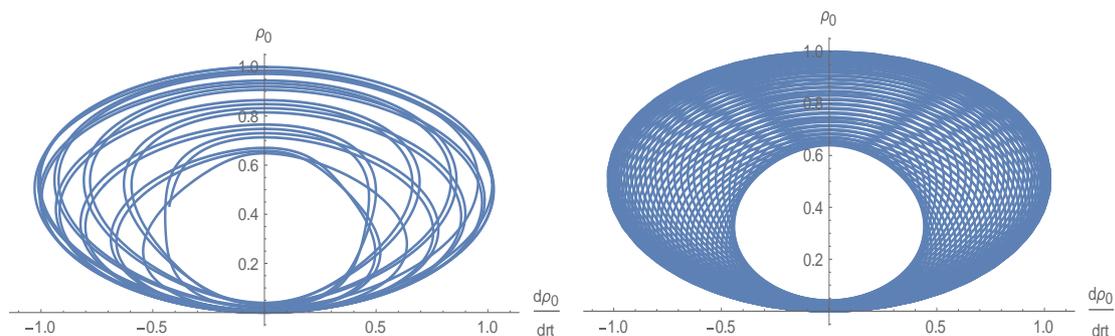
Участок неперiodических колебаний повторяется на каждом периоде $T_{SB}(c)$. Эта периодичность есть многократное повторение участка неперiodических колебаний определенной конечной длительности.

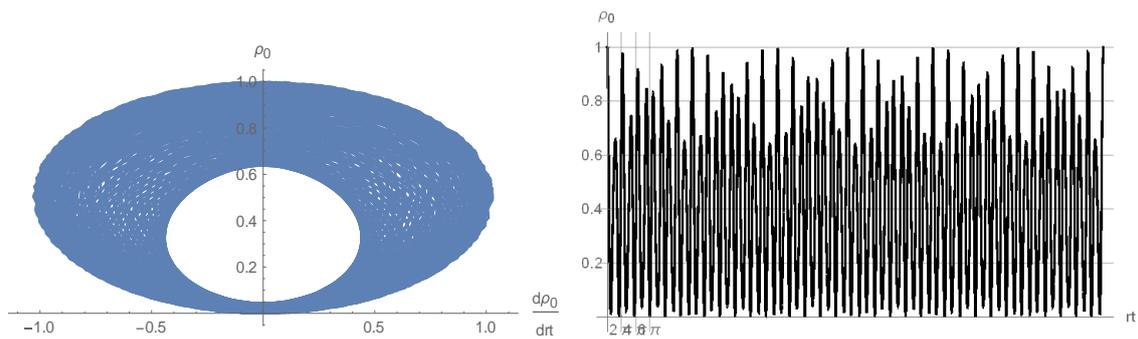
КС с неперiodическим полигармоническим режимом колебаний населенностей. КС; $c = 2\sqrt{2}, a = 0.4, b = 0.5, M = \infty$.

$$\rho_0 = (1/50)(21 + 4\text{Cos}(rt) + 5\text{Cos}(2\sqrt{2}rt) + 20\text{Cos}((1 - 2\sqrt{2})rt)). \quad (4)$$



Здесь представлен начальный участок неперiodических колебаний $\rho_0(rt)$, ниже – начальная часть траектории фазового портрета и ее вид





на все больших временных интервалах. Последний график $\rho_0(rt)$, соответствует фазовому портрету, расположенного над ним. Отметим, что на обоих графиках функций $\rho_0(rt)$ на малом и большом временных интервалах явно виден почти период длительностью $\sim 2\pi \cdot 6$.

КС из c -семейства характеризуются полигармоническими колебательными режимами двух типов. КС с рациональным значением спектрального параметра c обладают периодическими режимами разнообразных периодов $T_{SB} = rt = 2\pi M$, где $1 \leq M(c) < \infty$ натуральное число, зависящее не от величины c , но от его дробной части. Однако, на протяжении периода колебания не являются периодическими, и эта картина многократно повторяется на каждом периоде. Второе подмножество КС характеризуется иррациональными значениями параметра c и демонстрирует непериодический режим, то есть динамический хаос. Поскольку рациональные и иррациональные числа перемешаны на числовой прямой действительных чисел, значения которых может принимать параметр c , малейшее изменение этого параметра, например, под влиянием наблюдения, измерения резко изменяет период и тип колебательного режима.

УДК 517.977

А.И. Калинин, проф., д-р физ.-мат. наук;
Л.И. Лавринович, доц., канд. физ.-мат. наук
(БГУ, г. Минск)

АСИМПТОТИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ В РАЗНОТЕМПОВОЙ СИНГУЛЯНО ВОЗМУЩЕННОЙ СИСТЕМЕ

1. В математической теории оптимальных процессов значительное внимание уделяется асимптотическим методам оптимизации сингулярно возмущенных систем, содержащих малые параметры при части производных. Как известно, численное решение задач оптималь-

ного управления предполагает неоднократное интегрирование прямой и сопряженной систем. В сингулярно возмущенных задачах эти системы являются жесткими и, как следствие, при вычислениях возникают серьезные трудности, выражающиеся в недопустимо большом времени счета и неизбежном накоплении вычислительных ошибок. Поэтому возрастает роль асимптотических методов, тем более что при их применении происходит декомпозиция исходной задачи оптимального управления на задачи меньшей размерности.

Настоящий доклад посвящен построению асимптотических приближений к решению задачи об управлении оптимальными энергетическими затратами сингулярно возмущенной системы, содержащей две группы быстрых переменных.

2. В классе r -мерных управляющих воздействий $u(t) = (u_1(t), \dots, u_r(t))$, $t \in T = [t_*, t^*]$, с кусочно-непрерывными компонентами рассмотрим следующую задачу оптимального управления:

$$\dot{x} = A_{11}x + A_{12}y + A_{13}z + B_1u, \quad x(t_*) = x_*, \quad (1)$$

$$\mu \dot{y} = A_{21}x + A_{22}y + A_{23}z + B_2u, \quad y(t_*) = y_*, \quad (2)$$

$$\mu^2 \dot{z} = A_{31}x + A_{32}y + A_{33}z + B_3u, \quad z(t_*) = z_*, \quad (3)$$

$$x(t^*) = 0, \quad y(t^*) = 0, \quad z(t^*) = 0, \quad (4)$$

$$J(u) = \frac{1}{2} \int_{t_*}^{t^*} u^T P u dt \rightarrow \min, \quad (5)$$

где μ – малый положительный параметр, t_* , t^* – заданные моменты времени ($t_* < t^*$), x – n_1 -вектор, y – n_2 -вектор, z – n_3 -вектор. Остальные элементы задачи имеют соответствующие размеры. В критерии качества P – положительно-определенная симметрическая матрица.

Предположение 1. Матрицы A_{33} , $C = A_{22} - A_{23}A_{33}^{-1}A_{32}$ устойчивые, т. е. действительные части всех их собственных значений отрицательны.

Определение 1. Управление $u^{(N)}(t, \mu)$, $t \in T$, с кусочно-непрерывными компонентами назовем (программным) асимптотически субоптимальным управлением N -го порядка ($N = 0, 1, 2, \dots$), если оно переводит динамическую систему в состояние $O(\mu^{N+1})$ и отклоняется по критерию качества (5) от оптимального управления на величину того же порядка малости.

Определение 2. Вектор-функцию $u^{(N)}(x, y, z, t, \mu)$ назовем асимптотически субоптимальной обратной связью N -го порядка, если

для любого начального состояния (x_*, y_*, z_*, t_*) , $t_* < t^*$, имеет место $u^{(N)}(x_*, y_*, z_*, t_*, \mu) = u^{(N)}(t_*, \mu)$, где $u^{(N)}(t, \mu)$, $t \in T$, – асимптотически субоптимальное управление N -го порядка в задаче (1) – (5).

3. Основная идея применяемого подхода состоит в асимптотическом разложении по целым степеням малого параметра начальных значений (в момент времени t^*) сопряженных переменных – конечно-мерных элементов, по которым можно легко восстановить решение задачи. Старшие коэффициенты этих разложений могут быть найдены в результате решения трех базовых невозмущенных задач оптимального управления с n_1 , n_2 , n_3 фазовыми переменными соответственно. Первой из них является вырожденная задача

$$\dot{x} = A_0 x + B_0 u, x(t_*) = x_*, x(t^*) = 0,$$

$$J_1(u) = \frac{1}{2} \int_{t_*}^{t^*} u^T P u dt \rightarrow \min,$$

где

$$A_0 = A_{11} - A_{13} A_{33}^{-1} A_{31} - (A_{21} - A_{13} A_{33}^{-1} A_{32}) C^{-1} (A_{21} - A_{23} A_{33}^{-1} A_{31}),$$

$$B_0 = B_1 - A_{13} A_{33}^{-1} B_3 - (A_{12} - A_{13} A_{33}^{-1} A_{32}) C^{-1} D, D = B_2 - A_{23} A_{33}^{-1} B_3.$$

В дальнейшем эту задачу будем называть первой базовой.

Вторая базовая задача имеет вид

$$\dot{y} = y + Du, y(0) = C^{-1} D u^0(t^*),$$

$$y(-\infty) = 0, J_2(u) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^0 u^T P u ds \rightarrow \min,$$

где $u^0(t)$, $t \in T$, – решение первой базовой задачи.

Третья базовая задача имеет вид

$$\dot{z} = A_{33} z + B_3 u, z(0) = A_{33}^{-1} B_3 (u^0(t^*) + u^*(0)),$$

$$z(-\infty) = 0, J_3(u) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^0 u^T P u d\tau \rightarrow \min,$$

где $u^*(s)$, $s \leq 0$, – решение второй базовой задачи. Обозначим $u_*(\tau)$, $\tau \leq 0$, – решение третьей базовой задачи

Предположение 2. Динамические системы в базовых задачах являются вполне управляемыми.

Сделанное предположение гарантирует существование допустимых управлений в базовых задачах. Отсюда в свою очередь следует, что эти задачи имеют единственное решение и являются нормальными.

Теорема. При выполнении предположений 1–2 оптимальное управление в задаче (1) – (5) с достаточно малым μ имеет вид

$$u^0(t, \mu) = P^{-1} \left(B_1^T \psi_1^0(t) + B_2^T \psi_2^0(t) + B_3^T \psi_3^0(t) \right).$$

Начальные значения $\lambda(\mu) = \psi_1^0(t^*, \mu)$, $v(\mu) = \psi_2^0(t^*, \mu)$, $\chi(\mu) = \psi_3^0(t^*, \mu)$ вектора сопряженных переменных $(\psi_1^0(t, \mu), \psi_2^0(t, \mu), \psi_3^0(t, \mu))$, $t \in T$, который в силу принципа максимума соответствует оптимальному управлению, допускают асимптотические разложения

$$\lambda(\mu) \sim \lambda_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \mu^k \lambda_k, \quad v(\mu) \sim v_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \mu^k v_k, \quad \eta(\mu) \sim \eta_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \mu^k \eta_k$$

в которых

$$v_0 = \sigma_0 - \left((A_{12} - A_{13} A_{33}^{-1} A_{32}) C^{-1} \right)^T \lambda_0, \quad \eta_0 = \chi_0 - (A_{13} A_{33}^{-1})^T \lambda_0 + (A_{23} A_{33}^{-1})^T v_0,$$

а λ_0 , σ_0 , χ_0 – начальные значения сопряженных переменных соответственно в первой, второй и третьей базовых задачах.

4. На основе конструктивного доказательства теоремы разработан алгоритм, позволяющий для заданного числа N построить асимптотическое субоптимальное управление N -го порядка. Асимптотически субоптимальное управление нулевого порядка представимо в виде

$$u^{(0)}(t, \mu) = u^0(t) + u^* \left((t - t^*) / \mu \right) + u_* \left((t - t^*) / \mu^2 \right) \quad (6)$$

и может быть сформировано непосредственно после решения базовых задач. Заметим, что управление (6) не зависит от начального состояний u^* и z^* векторов быстрых переменных. Для построения асимптотически субоптимальных управлений более высокого порядка нужно дополнительно интегрировать системы линейных дифференциальных уравнений и находить решения невырожденных линейных алгебраических систем.

В докладе предложены вычислительные процедуры построения асимптотических приближений к решению рассмотренной задачи в виде программы и обратной связи

При реализации предлагаемых алгоритмов исходная задача оптимального управления распадается на две невозмущенные задачи меньшей размерности. Такая декомпозиция позволяет эффективно решать задачи оптимизации динамических систем с большим числом фазовых переменных. Кроме того, вычислительные процедуры алгоритмов не содержат интегрирований жестких систем.

РЕДУКТИВНЫЕ ОДНОРОДНЫЕ ПРОСТРАНСТВА РАЗРЕШИМЫХ ГРУПП ЛИ, НЕ ДОПУСКАЮЩИЕ ЭКВИАФФИННЫХ СВЯЗНОСТЕЙ

В работе обсуждается существование и свойства инвариантных связностей на однородных пространствах, результаты Вана [1] применяются к ситуации, когда существует инвариантная структура на однородном пространстве, а именно, на редуктивном пространстве. Инвариантные связности на редуктивных однородных пространствах изучались П.К. Рашевским, М. Куритой, Э.Б. Винбергом, Ш. Кобаяси, К. Номидзу [2] и др. Понятие нормальной связности ввел Э. Картан (для риманова многообразия, см. [3]).

Класс пространств с симметрическим тензором Риччи значительно шире класса римановых пространств, это так называемые пространства эквиаффинной связности. Они, вообще говоря, не обладают метрикой, но в их касательных пространствах можно ввести измерение объемов так, что объем n -мерного параллелепипеда, построенного на n векторах, сохраняется при параллельном перенесении этих векторов по любому пути.

Соответствующее свойство можно принять за определение пространств эквиаффинной связности. Аффинная связность является эквиаффинной, если допускает параллельную форму объема (см. [4]). Трехмерные редуктивные однородные пространства разрешимых групп Ли изучались в [5], в данной работе определяется, при каких условиях пространство допускает нормальную связность, но не допускает эквиаффинную.

Пусть M – дифференцируемое многообразие, на котором транзитивно действует группа \bar{G} , $G = \bar{G}_x$ – стабилизатор произвольной точки $x \in M$. Пусть $\bar{\mathfrak{g}}$ – алгебра Ли группы Ли \bar{G} , а \mathfrak{g} – подалгебра, соответствующая подгруппе G . Пространство редуктивно, если алгебра Ли $\bar{\mathfrak{g}}$ может быть разложена в прямую сумму векторных пространств – алгебры Ли \mathfrak{g} и $\text{ad}(G)$ -инвариантного подпространства \mathfrak{m} . Там, где это не будет вызывать разночтения, будем отождествлять подпространство, дополнительное к \mathfrak{g} в $\bar{\mathfrak{g}}$, и факторпространство $\mathfrak{m} = \bar{\mathfrak{g}}/\mathfrak{g}$. Аффинной связностью на паре $(\bar{\mathfrak{g}}, \mathfrak{g})$ называется такое отображение $\Lambda: \bar{\mathfrak{g}} \rightarrow \mathfrak{gl}(\mathfrak{m})$, что его ограничение на \mathfrak{g} есть изотропное представление подалгебры \mathfrak{g} , а все отображение является

\mathfrak{g} -инвариантным. Тензор кручения $T \in \text{Inv}T_2^1(\mathfrak{m})$ и кривизны $R \in \text{Inv}T_3^1(\mathfrak{m})$ имеют вид: $T(x_m, y_m) = \Lambda(x)y_m - \Lambda(y)x_m - [x, y]_m$, $R(x_m, y_m) = [\Lambda(x), \Lambda(y)] - \Lambda([x, y])$ для всех $x, y \in \bar{\mathfrak{g}}$. Будем говорить, что Λ имеет нулевое кручение или является связностью без кручения, если $T = 0$. Определим тензор Риччи $Ric \in \text{Inv}T_2(\mathfrak{m})$ имеет вид $Ric(y, z) = \text{tr}\{x \mapsto R(x, y)z\}$. Будем говорить, что аффинная связность Λ является локально эквиаффинной, если $\text{tr}\Lambda([x, y]) = 0$ для всех $x, y \in \bar{\mathfrak{g}}$ (то есть $\Lambda([\bar{\mathfrak{g}}, \bar{\mathfrak{g}}]) \subset \mathfrak{sl}(\mathfrak{m})$). Аффинная связность Λ с нулевым кручением имеет симметрический тензор Риччи тогда и только тогда, когда она локально эквиаффинна.

Под эквиаффинной связностью будем понимать аффинную связность Λ (без кручения), для которой $\text{tr}\Lambda(x) = 0$ для всех $x \in \bar{\mathfrak{g}}$, тогда $\Lambda(\bar{\mathfrak{g}}) \subset \mathfrak{sl}(\mathfrak{m})$.

Будем описывать пару $(\bar{\mathfrak{g}}, \mathfrak{g})$ при помощи таблицы умножения алгебры Ли $\bar{\mathfrak{g}}$. Через $\{e_1, \dots, e_n\}$ обозначим базис $\bar{\mathfrak{g}}$ ($n = \dim \bar{\mathfrak{g}}$). Будем полагать, что \mathfrak{g} порождается e_1, \dots, e_{n-3} , а $\{u_1 = e_{n-2}, u_2 = e_{n-1}, u_3 = e_n\}$ – базис \mathfrak{m} . Для нумерации подалгебр используем запись $d.n$, а для нумерации пар – запись $d.n.m$, соответствующие приведенным в [5], здесь d – размерность подалгебры, n – номер подалгебры в $\mathfrak{gl}(3, \mathbb{R})$, а m – номер пары $(\bar{\mathfrak{g}}, \mathfrak{g})$.

Теорема. Все трехмерные редуцированные однородные пространства, допускающие нормальную связность, но не допускающие эквиаффинную, такие, что $\bar{\mathfrak{g}}$ разрешима, а $\dim \mathfrak{g} > 1$, локально имеют следующий вид:

$$\begin{array}{l}
 \underline{2.9.4, \mu = 0} \quad | \quad \underline{e_1} \quad \underline{e_2} \quad \underline{u_1} \quad \underline{u_2} \quad \underline{u_3} \\
 e_1 \quad | \quad 0 \quad e_2 \quad u_1 \quad 0 \quad 0 \\
 e_2 \quad | \quad -e_2 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad u_1 \\
 u_1 \quad | \quad -u_1 \quad 0 \quad 0 \quad u_1 \quad 0 \\
 u_2 \quad | \quad 0 \quad 0 \quad -u_1 \quad 0 \quad -u_3 \\
 u_3 \quad | \quad 0 \quad -u_1 \quad 0 \quad u_3 \quad 0 \\
 \\
 \underline{2.9.5, 2.9.6} \quad | \quad \underline{e_1} \quad \underline{e_2} \quad \underline{u_1} \quad \underline{u_2} \quad \underline{u_3} \\
 e_1 \quad | \quad 0 \quad e_2 \quad u_1 \quad 0 \quad 0 \\
 e_2 \quad | \quad -e_2 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad u_1 \\
 u_1 \quad | \quad -u_1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad \pm e_2 \\
 u_2 \quad | \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad \alpha u_2 \\
 u_3 \quad | \quad 0 \quad -u_1 \quad \mp e_2 \quad -\alpha u_2 \quad 0
 \end{array}, \alpha \geq 0$$

$$\begin{array}{c|ccccc}
2.9.7 & \underline{e_1} & \underline{e_2} & \underline{u_1} & \underline{u_2} & \underline{u_3} \\
e_1 & 0 & e_2 & u_1 & 0 & 0 \\
e_2 & -e_2 & 0 & 0 & 0 & u_1 \\
u_1 & -u_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
u_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & u_2 \\
u_3 & 0 & -u_1 & 0 & -u_2 & 0
\end{array}$$

Доказательство для случая нормальной связности приведено в [5]. Выберем из пространств, найденных в [5], не допускающие эквивалентных связностей.

В частности, для пар 2.9.4 ($\mu=0$), 2.9.5, 2.9.6, 2.9.7 аффинные связности имеют вид

$$\Lambda(u_1) = \begin{pmatrix} 0 & p_{12} & p_{13} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \Lambda(u_2) = \begin{pmatrix} q_{11} & 0 & 0 \\ 0 & q_{22} & q_{23} \\ 0 & 0 & q_{11} \end{pmatrix}, \Lambda(u_3) = \begin{pmatrix} r_{11} & 0 & 0 \\ 0 & r_{22} & r_{23} \\ 0 & p_{12} & r_{11} + p_{13} \end{pmatrix},$$

где $p_{i,j}, q_{i,j}, r_{i,j} \in \mathbb{R}, i, j=1,3$. В табл. 0 приведены тензоры кручения указанных связностей.

Таблица 1 – Тензоры кручения

Пара	Тензоры кручения $T(u_1, u_2), T(u_1, u_3), T(u_2, u_3)$
2.9.4 при $\mu=0$	$(p_{12} - q_{11} - 1, 0, 0), (p_{13} - r_{11}, 0, 0), (0, q_{23} - r_{22}, q_{11} - p_{12} + 1)$
2.9.5, 2.9.6.	$(p_{12} - q_{11}, 0, 0), (p_{13} - r_{11}, 0, 0), (0, q_{23} - r_{22} - \alpha, q_{11} - p_{12})$
2.9.7.	$(p_{12} - q_{11}, 0, 0), (p_{13} - r_{11}, 0, 0), (0, q_{23} - r_{22} - 1, q_{11} - p_{12})$

Тогда локально эквивалентные связности (без кручения) на трехмерных редуктивных однородных пространствах разрешимых групп Ли, приведенных в теореме, принимают вид, приведенный в табл. 2. Во всех приведенных случаях $\text{tr}\Lambda(e_1) \neq 0$, поэтому пары не допускают эквивалентных связностей.

Прямыми вычислениями получаем, что других трехмерных редуктивных однородных пространств разрешимых групп Ли, допускающих нормальную связность, но не допускающих эквивалентную, не существует.

Таблица 2 – Локально эквивалентные связности

Пара	Локально эквивалентная связность (без кручения) $\Lambda(u_1), \Lambda(u_2), \Lambda(u_3)$
1	2
2.9.4, $\mu=0$	$ \begin{pmatrix} 0 & p_{12} & p_{13} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} p_{1,2} - 1 & 0 & 0 \\ 0 & q_{22} & -3p_{13} \\ 0 & 0 & p_{1,2} - 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} p_{13} & 0 & 0 \\ 0 & -3p_{13} & r_{23} \\ 0 & p_{12} & 2p_{13} \end{pmatrix} $

1	2
2.9.5, 2.9.6	$\begin{pmatrix} 0 & p_{12} & p_{13} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} p_{1,2} & 0 & 0 \\ 0 & q_{22} & q_{23} \\ 0 & 0 & p_{1,2} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} p_{13} & 0 & 0 \\ 0 & q_{23} - \alpha & r_{23} \\ 0 & p_{12} & 2p_{13} \end{pmatrix},$ <p style="text-align: center;">при $\alpha \neq 0 \quad q_{22} = -2p_{12}$</p>
2.9.7	$\begin{pmatrix} 0 & p_{12} & p_{13} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} p_{1,2} & 0 & 0 \\ 0 & -2p_{12} & q_{23} \\ 0 & 0 & p_{1,2} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} p_{13} & 0 & 0 \\ 0 & q_{23} - 1 & r_{23} \\ 0 & p_{12} & 2p_{13} \end{pmatrix}$

Найдены и описаны в явном виде трехмерные редуцированные однородные пространства, допускающие нормальную связность, но не допускающие эквиаффинную, рассмотрен случай разрешимой группы Ли преобразований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wang, H. C. On invariant connections over a principal fibre bundle / H. C. Wang // Nagoya Math. J. – 1958. – No 13. – P. 1–19.
2. Кобаяси, Ш. Основы дифференциальной геометрии: в 2 т. / Ш. Кобаяси, К. Номидзу. – М. : Наука, 1981. – 2 т.
3. Картан, Э. Риманова геометрия в ортогональном репере / Э. Картан. – М. : Моск. ун-т, 1960. – 307 с.
4. Nomizu, K. Affine differential geometry / K. Nomizu, T. Sasaki. – Cambridge Univ. Press, 1994. – 263p.
5. Можей, Н.П. Трехмерные редуцированные пространства разрешимых групп Ли / Н. П. Можей // Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины, № 6 (99), 2016, С. 74–81.

УДК 62-50

В.В. Альсевич, проф., канд. физ.-мат. наук;
Н.И. Чеботаревский, студ. (БГУ, г. Минск)

ОСОБЫЕ ПРОГРАММЫ В ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СО СПЕЦИАЛЬНЫМ ФУНКЦИОНАЛОМ

Особым управлениям (или программам) и выводу условий оптимальности особых управлений посвящено множество работ, среди которых следует выделить [1, 2]. В этих работах, как и во многих других, исследуются особые управления в простейших задачах, когда

функционалы не зависят от промежуточных состояний системы управления. Это намного упрощает исследования, поскольку решения сопряженной системы и матричных импульсов являются непрерывно дифференцируемыми функциями. В данном сообщении приведены условия оптимальности особых управлений для специального функционала, зависящего от промежуточных состояний.

Рассматривается следующая задача оптимального управления:

$$J(u) = \varphi(x(\tau_1), \dots, x(\tau_k)) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\dot{x} = f(x, u), \quad t \in T = [0, t^*], \quad x(0) = x_0, \quad (2)$$

$$u(t) \in U, \quad t \in T. \quad (3)$$

Здесь $x = x(t) \in \mathbf{R}^n$ – состояние объекта в момент времени t ; $u = u(t) \in \mathbf{R}^r$ – значение управляющего воздействия; t – скаляр (время); x_0 – начальное состояние; T – фиксированный промежуток времени управления, $0 < \tau_1 < \tau_2 < \dots < \tau_k = t^*$.

Класс доступных управляющих воздействий – это кусочно-непрерывные (справа) функции $u(t), t \in T$, удовлетворяющие условию (3), где $U \subset \mathbf{R}^r$ – заданное множество. Поскольку в данной задаче нет ограничений на конечное (терминальное) состояние, то доступное управляющее воздействие называют программой [3].

Обозначим $y = (y_i = x(\tau_i), i = \overline{1, k})$. Предположим, что функции $f(x, u), \varphi(y)$ непрерывны вместе с $\partial f / \partial x, \partial^2 f / \partial x^2, \partial \varphi / \partial y, \partial^2 \varphi / \partial y^2$.

Пусть $u(t), t \in T$, – некоторая программа, $x(t), t \in T$, – соответствующая траектория системы (2). $H(x, \psi, u) = \psi' f(x, u)$, где $\psi = \psi(t), t \in T$, – соответствующее решение сопряженной системы

$$\dot{\psi} = - \frac{\partial H(x(t), \psi, u(t))}{\partial x}, \quad t \in T, \quad (4)$$

с граничным условием

$$\psi(t^*) = - \frac{\partial \varphi(y)}{\partial y_k} \quad (5)$$

и условиями скачков

$$\psi(\tau_i - 0) - \psi(\tau_i + 0) = - \frac{\partial \varphi(y)}{\partial y_i}, \quad i = \overline{1, k-1}. \quad (6)$$

Заметим, что все вектора понимаются как вектор-столбцы, штрих (') – оператор транспонирования.

Используя общепринятую методику, можно показать, что в задаче (1)-(3) оптимальная программа $u(t), t \in T$, вместе с соответству-

ющими решениями $x(t), t \in T$, системы (2) и $\psi = \psi(t), t \in T$, сопряженной системы (4)–(6) удовлетворяют условию максимума

$$H(x(t), \psi(t), u(t)) = \max_{u \in U} H(x(t), \psi(t), u), \quad t \in [0, t^*]. \quad (7)$$

Как известно [1, 2], условие (7) может вырождаться, когда существуют непустые множества $\sigma \in T, \text{mes} \sigma \neq 0$, на которых либо максимум в (7) достигается не на одном элементе, либо функция H не зависит на этом множестве от u . В этом случае условие (7) становится неэффективным. Для простоты будем считать, что $\sigma = T$. Тогда программу $u(t), t \in T$, называют особой, если выполняется тождество

$$\Delta_v H(x(t), \psi(t), u(t)) \equiv 0, \quad v \in U, \quad t \in T.$$

Здесь $\Delta_v H(x, \psi, u) = H(x, \psi, v) - H(x, \psi, u)$.

На особой программе $u(t), t \in T$, и соответствующем решении $x(t), t \in T$, системы (2) определим следующие функции. Пусть функции $F(\tau_j, t), t \in [\tau_i, \tau_j], i = \overline{1, k-1}, j = \overline{i+1, k}$, – решения систем

$$\frac{\partial F(\tau_j, t)}{\partial t} = \frac{\partial f(x(t), u(t))}{\partial x} F(\tau_j, t), \quad t \leq \tau_j, \quad F(\tau_j, \tau_j) = E, \quad j = \overline{2, k},$$

где E – единичная матрица; $\Psi(t), t \in T$, – решение системы

$$\begin{aligned} \dot{\Psi}(t) = & - \frac{\partial f'(x(t), u(t))}{\partial x} \Psi(t) - \Psi(t) \frac{\partial f(x(t), u(t))}{\partial x} - \\ & - \frac{\partial^2 H(x(t), \psi(t), u(t))}{\partial x^2}, \quad t \in T, \end{aligned} \quad (8)$$

с граничным условием

$$\Psi(t^*) = - \frac{\partial^2 \varphi(y)}{\partial y_k^2} \quad (9)$$

и скачками

$$\begin{aligned} \Psi(\tau_i - 0) - \Psi(\tau_i + 0) = & - \frac{\partial^2 \varphi(y)}{\partial y_i^2} + \\ & + \frac{1}{2} \sum_{j=i+1}^k \left(\frac{\partial^2 \varphi(y)}{\partial y_i \partial y_j} F(\tau_j, \tau_i) + F'(\tau_j, \tau_i) \frac{\partial^2 \varphi(y)}{\partial y_j \partial y_i} \right), \quad i = \overline{1, k-1}. \end{aligned} \quad (10)$$

Справедливо следующее утверждение.

Теорема. *Каждая особая оптимальная программа $u(t), t \in T$, задачи (1)–(3) вместе с соответствующими решениями $x(t), t \in T$, системы (2), $\psi = \psi(t), t \in T$, сопряженной системы (4)–(6), $\Psi(t), t \in T$, системы (8)–(10) удовлетворяет условию*

$$\frac{\partial \Delta_v H'(x(t), \psi(t), u(t))}{\partial x} \Delta_v f(x(t), u(t)) + \\ + \Delta_v f'(x(t), u(t)) \Psi(t) \Delta_v f(x(t), u(t)), \quad v \in U, t \in T.$$

Аналогичные результаты справедливы и для систем с запаздыванием вида

$$\dot{x}(t) = f(x(t), x(t-h), u(t)), \quad t \in T = [0, t^*], \quad x(t) = x_0(t), \quad t \in [-h, 0],$$

где $h > 0$ – запаздывание, $x_0(t), t \in [-h, 0]$, – заданная функция. Однако в силу присутствия запаздывания усложняются уравнения для сопряженных переменных и матричных импульсов.

Вместо постоянного запаздывания может рассматриваться и переменное, что еще больше усложняет вид результатов. В силу ограниченности объема данного сообщения результаты для систем с запаздыванием не приводятся.

ЛИТЕРАТУРА

1. Габасов Р., Кириллова Ф.М. Особые оптимальные управления. – М.: Книжный дом "Либроком", 2012. – 256 с.
2. Альсевич, В.В. Оптимизация динамических систем с запаздываниями. – Мн.: БГУ, 2000. – 198 с.
3. Методы оптимизации: уч. пособие / Р. Габасов [и др.]. – Мн.: изд-во "Четыре четверти", 2011. – 472 с.

УДК 517.977

Н.М. Дмитрук, доц., канд. физ.-мат. наук
(БГУ, г. Минск)

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ С ДВУМЯ МОМЕНТАМИ ЗАМЫКАНИЯ В ЗАДАЧЕ МИНИМИЗАЦИИ ПОЛНОГО ИМПУЛЬСА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ

1. В теории управления линейными системами с возмущениями можно выделить три подхода к формулировке задач оптимального управления. Первая, простейшая, задача относится к построению оптимальной гарантирующей программы. Второй подход заключается в применении динамического программирования и формулировке задачи о построении оптимальной обратной связи. Наконец, третий подход предполагает сочетание первых двух и строит оптимальные стратегии управления с моментами замыкания [1].

Настоящий доклад посвящен построению оптимальных стратегий с двумя моментами замыкания в задаче минимизации полного импульса управления для линейной системы и развивает идеи [2].

2. Рассмотрим линейную дискретную систему

$$x(t+1) = Ax(t) + bu(t) + dw(t), \quad x(0) = x_0, \quad t = 0, 1, \dots, T-1, \quad (1)$$

где $x(t) \in R^n$, $u(t), w(t) \in R$ – состояние, управление, неизвестное возмущение в момент времени t , A, b, d – заданные матрица и векторы соответствующей размерности.

На управления, состояния и возмущения наложены ограничения:

$$u(t) \in U = \{u \in R : |u| \leq 1\}, \quad w(t) \in W = \{w \in R : |w| \leq w_{\max}\}, \quad t = 0, 1, \dots, T-1, \\ x(T) \in X_T = \{x \in R^n : Hx \leq g\}, \quad (2)$$

где $H \in R^{m \times n}$, $g \in R^m$, таковы, что множество X_T ограничено.

Качество управления системой (1) оценивается величиной полного импульса управления $\sum_{t=0}^{T-1} |u(t)|$ при переводе системы с гарантией, т.е. при всех возможных реализациях возмущения [1], на терминальное множество X_T , определенное в (2). Оптимальным является управление с минимальным значением полного импульса.

3. Определим в рассматриваемой задаче оптимальную стратегию с двумя моментами замыкания. Пусть до начала процесса управления зафиксированы два момента $0 < T_1 < T_2 < T$. Они разбивают интервал управления на промежутки $\Delta_j = \{T_j, T_j + 1, \dots, T_{j+1} - 1\}$, $j=0, 1, 2$, где считается, что $T_0 = 0$, $T_3 = T$.

Управление на Δ_j будем обозначать $u_j(\cdot) = (u_j(t), t \in \Delta_j)$, возмущение – $w_j(\cdot) = (w_j(t), t \in \Delta_j)$, множества доступных на Δ_j управлений обозначим U_j , возможных возмущений – W_j . Состояние системы (1) в момент времени $t \in \Delta_j$ при начальном состоянии $x(T_j) = x_j$, управлении $u_j(\cdot)$ и возмущении $w_j(\cdot)$ будем обозначать $x(t | x_j, u_j, w_j)$. Множество возможных состояний в момент T_{j+1} обозначим $X(T_{j+1} | x_j, u_j)$.

Следуя [1], сделаем предположение: в моменты $T_j, j=1, 2$, можно:

1) измерить текущее состояние $x^*(T_j) \in X(T_{j+1} | x_j, u_j)$ системы;

2) в зависимости от $x^*(T_j)$ выбрать новое управление $u_j(\cdot | x^*(T_j)) \in U_j$.

Поскольку состояния $x^*(T_j)$, $j = 1, 2$, заранее не известны, решение задачи будем искать в виде стратегии управления $\pi_0(0, x_0)$.

Определение 1. Стратегией управления с моментом замыкания T_2 на $\{\Delta_1, \Delta_2\}$ назовем совокупность

$$\pi_1(T_1, x_1) = \{u_1(\cdot | x_1); u_2(\cdot | x_2), x_2 \in X(T_2 | x_1, u_1)\}, \quad (3)$$

состоящую из управления $u_1(\cdot | x_1) \in U_1$ на Δ_1 и семейства управлений $u_2(\cdot | x_2) \in U_2$ на Δ_2 для всех возможных состояний x_2 в момент T_2 .

Стратегией управления с двумя моментами замыкания T_1, T_2 назовем совокупность, состоящую из управления $u_0(\cdot | x_0) \in U_0$ на Δ_0 и семейства стратегий (3):

$$\pi_0(0, x_0) = \{u_0(\cdot | x_0); \pi_1(T_1, x_1), x_1 \in X(T_1 | x_0, u_0)\}. \quad (4)$$

Определение 2. Управление $u_0(\cdot | x_0)$ в (4) и $u_1(\cdot | x_1)$ в (3) будем называть начальной программой (на Δ_0 и Δ_1 , соответственно).

Для получения условий допустимости и оптимальности стратегий управления (3), (4) применяем стандартные рассуждения динамического программирования, в результате имеем уравнение Беллмана:

$$V_j(x_j) = \min_{u_j \in U_j} \max_{w_j \in W_j} \left\{ \sum_{t \in \Delta_j} |u_j(t)| + V_{j+1}(x(T_{j+1} | x_j, u_j, w_j)) \right\}, j=0,1, \quad (5)$$

$$V_2(x_2) = \min_{u_2 \in U_2} \sum_{t \in \Delta_2} |u_2(t)|, \quad X(T | x_2, u_2) \subset X_T.$$

Решение задач (5) дает оптимальные начальные программы на соответствующих участках. Вычисление управления $u_2(\cdot | x_2) \in U_2$ не составляет труда, поскольку это задача построения оптимальной гарантирующей программы, как в [2].

С целью вычисления оптимальных начальных программ $u_0(\cdot | x_0)$ и $u_1(\cdot | x_1)$ преобразуем задачу (5), $j=0,1$:

$$V_j(x_j) = \min_{\alpha, u_j \in U_j} \left\{ \sum_{t \in \Delta_j} |u_j(t)| + \alpha \right\}, \quad (6)$$

$$V_{j+1}(x(T_{j+1} | x_j, u_j, w_j)) \leq \alpha \quad \forall w_j(\cdot) \in W_j.$$

Введем в рассмотрение множества замыкания [1,2]

$$X_j(\alpha) = \{x \in R^n : V_j(x) \leq \alpha\}, j=1,2, \quad (7)$$

где $\alpha \in R$ таково, что $X_j(\alpha) \neq \emptyset$. Понятно, что $\alpha \leq T - T_j$.

Теперь задачу (6) представим как

$$V_j(x_j) = \min_{\alpha, u_j \in U_j} \left\{ \sum_{t \in \Delta_j} |u_j(t)| + \alpha \right\}, \quad (8)$$

$$x(t+1) = Ax(t) + bu_j(t) + dw_j(t), \quad x(T_j) = x_j, \quad |u_j(t)| \leq 1, \quad t \in \Delta_j,$$

$$x(T_{j+1}) \in X_{j+1}(\alpha) \quad \forall w_j(\cdot) \in W_j, \quad \alpha \leq T - T_{j+1}.$$

Задача (8) – задача оптимального управления, в которой требуется перевести систему (1) на промежутке Δ_j с гарантией на множество замыкания (7), минимизируя при этом сумму полного импульса управления и параметра, определяющего конкретное множество замыкания. Центральный результат работы – описание свойств множеств (7).

Утверждение 1. Множество $X_2(\alpha)$ при любом $\alpha \leq T - T_2$ есть выпуклый многогранник, систему нормалей $\{p_{2i}\}_{i=1}^{l_2}$ к граням которого составляют векторы $\pm d_2(t)^\perp, t \in \Delta_2, (d_2(t_1) \pm d_2(t_2))^\perp, t_1, t_2 \in \Delta_2, \pm h'_k A^{T-T_2}, k=1, 2, \dots, m$, где $d_2(t) = A^{T-t-1}b, t \in \Delta_2$.

Пусть далее, P_2 – матрица, строками которой являются p_{2i} ; Q_2 – матрица, строками которой являются векторы $q_{2i} = (|p'_{2i}d_2(t)|, t \in \Delta_2)$, в которых элементы отсортированы в порядке убывания; вектор $\omega_2(\alpha) = (1, \dots, 1, \{\alpha\}, 0, \dots, 0) \in R^{T-T_2}$, $\{\alpha\}$ – дробная часть α , находится на месте $[\alpha]+1$, $[\alpha]$ – целая часть α ; $g_2 = (g_{2i}, i=1, 2, \dots, l_2)$:

$$g_{2i} = \min_y (g - \gamma_2)' y, \quad y' N A^{T-T_2} = p'_{2i}, \quad y \geq 0,$$

где $\gamma_2 = w_{\max} \sum_{t \in \Delta_2} |N A^{T-t-1} d|$.

Утверждение 2. Множество замыкания $X_2(\alpha), \alpha \leq T - T_j$, имеет вид

$$X_2(\alpha) = \{x \in R^n : P_2 x \leq g_2 + Q_2 \omega_2(\alpha)\}. \quad (9)$$

Обозначим $d_1(t) = A^{T-t-1}b, t \in \Delta_1$; $q_{1i}(y) = (y' Q_2, |p'_{1i} d_1(t)|, t \in \Delta_1)$ таковы, что их элементы отсортированы в порядке убывания; $\omega_1(\alpha)$ построена по тем же правилам, что и $\omega_2(\alpha)$, имеет размерность как у векторов $q_{1i}(y)$; $g_{1i}(y) = (g_2 - \gamma_1)' y, \gamma_1 = w_{\max} \sum_{t \in \Delta_1} |P_2 A^{T-t-1} d|$; Y_i – конечное подмножество из $\{y' P_2 A^{T-T_1} = p'_{1i}, y \geq 0\}$, состоящее из векторов оптимальных двойственных переменных в задачах вида $\max p'_{1i} x, x \in X_1(\alpha)$.

Утверждение 3. Множество $X_1(\alpha)$ при любом $\alpha \leq T - T_1$ есть выпуклый многогранник. Если известна система нормалей $\{p_{li}\}_{i=1}^{l_1}$, то множество замыкания $X_1(\alpha)$, $\alpha \leq T - T_1$, имеет вид

$$X_1(\alpha) = \{x \in R^n : p'_{li}x \leq g_{li}(y) + q'_{li}(y)\omega_1(\alpha), y \in Y_i, i = 1, 2, \dots, l_1\}. \quad (10)$$

Задача (8) при $j = 0$, т.е. задача построения оптимальной начальной программы $u_0(\cdot | x_0)$ с учетом (10) примет вид:

$$V_0(x_0) = \min_{\omega_0, u_0 \in U_0} \left\{ \sum_{t \in \Delta_0} |u_0(t)| + \|\omega_0\|_1 \right\}, \quad (11)$$

$$\begin{aligned} x(t+1) &= Ax(t) + bu_0(t) + dw_0(t), \quad x(0) = x_0, \quad |u_0(t)| \leq 1, \quad t \in \Delta_0, \\ p'_{li}x(T_1) - q'_{li}(y)\omega_0 &\leq g_{li}(y), \quad y \in Y_i, \quad i = 1, 2, \dots, l_1, \quad \forall w_0(\cdot) \in W_0, \\ \omega_0 &\geq 0, \quad \alpha \leq T - T_1. \end{aligned}$$

Задача (8) при $j = 1$, т.е. задача построения оптимальной начальной программы $u_1(\cdot | x_1)$ с учетом (9) примет вид:

$$V_1(x_1) = \min_{\omega_1, u_1 \in U_1} \left\{ \sum_{t \in \Delta_0} |u_1(t)| + \|\omega_1\|_1 \right\}, \quad (12)$$

$$\begin{aligned} x(t+1) &= Ax(t) + bu_1(t) + dw_1(t), \quad x(T_1) = x_1, \quad |u_1(t)| \leq 1, \quad t \in \Delta_1, \\ P_2x(T_2) - Q\omega_1 &\leq g_2, \quad \forall w_1(\cdot) \in W_1, \\ \omega_1 &\geq 0, \quad \alpha \leq T - T_2. \end{aligned}$$

Задачи (11) и (12) далее могут сведены к задачам линейного программирования, аналогично тому, как подобные задачи сводились в [1,2].

Основным преимуществом оптимальных стратегий с замыканиями является простота их построения и повышение качества управления в сравнении с оптимальными гарантирующими программами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитрук, Н.М. Многократно замыкаемая стратегия управления в линейной терминальной задаче оптимального гарантированного управления / Н.М. Дмитрук // Труды Института математики и механики УрО РАН. – 2022. – Т. 28, № 3. – С. 66–82.

2. Дмитрук, Н.М. Оптимальная стратегия с одним моментом замыкания в линейной задаче оптимального гарантированного управления // Ж. выч. мат. и матем. физики. – 2018. – Т. 58, № 5. – С. 664–681.

УДК 004.942.001.57

И.Н. Ганиев, акад., д-р хим. наук НАН Таджикистана
(ИХ им. В.И. Никитина НАН Таджикистана, г. Душанбе, Таджикистан);

Ф. Холмуродов, доц., канд. физ.-мат. наук;

А.Г. Сафаров, доц., д-р техн. наук;

Х. Каримов, магистрант, (ФТИ им. С.У. Умарова НАН Таджикистана,
г. Душанбе, Республика Таджикистан)

ВЛИЯНИЕ ЛАНТАНА НА УДЕЛЬНУЮ ТЕПЛОЕМКОСТЬ АЛЮМИНИЕВО-ЖЕЛЕЗОВОГО СПЛАВА АЖ2.18

Сплавы алюминия с содержаниями железа и редкоземельных металлов находят применение как проводниковые материалы в различных областях техники и производства (шины, стержни, кабели, провода, авиационные и автомобильные двигатели), эти сплавы используют в электротехнике и электронике [1].

В литературных источниках практически отсутствуют данные о влиянии элементов подгруппы лантаноидов на изменение термодинамических и теплофизических характеристик сплавов Al-Fe, а также анодных и кинетических характеристик этих сплавов [2, 3].

Теплоемкость алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном измеряли в режиме «охлаждения» по методикам, описанным в работах [4-6]. Суть метода заключается в том, что сравниваются скорости охлаждения двух образцов, т.е. исследуемого образца и эталона.

Обработка результатов измерений производилась с помощью программ «MS Excel» и «SigmaPlot», при этом коэффициент корреляции составил $R_{\text{корр.}} \geq 0,998$. Интервал фиксации времени выбран 10 с. В интервале от 40 до 400 °С относительная погрешность измерения температуры составляла $\pm 1,5\%$, при более высоких температурах (>400 °С) $\pm 2,5\%$. В нашем случае погрешность измерения теплоемкости не превышала 1,2% [7].

С целью определения влияния изменения температуры от времени охлаждения образцов из сплава АЖ2.18 с лантаном по сравнению с эталонным образцом (в качестве эталонного образца использован Cu марки «M00» (Cu-M00), были построены термограммы и зависимости скорости охлаждения образцов от температуры, которые показаны соответственно, на рис. 1 а и б. Изменение температуры от времени для образцов рассчитывали согласно выражению:

$$T = T_0 + \frac{1}{2} \left[(T_1 - T_0) e^{-\tau/\tau_1} + (T_2 - T_0) e^{-\tau/\tau_2} \right] \quad (1)$$

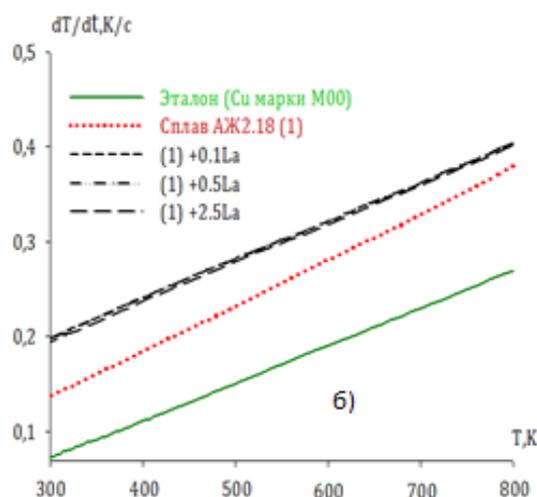


Рисунок 1 – Графики зависимости температуры образцов:
а) от времени охлаждения и б) скорости охлаждения от температуры
для алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном

Значения удельной теплоёмкости (C_p) алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном определялось сравнением с эталонным образцом (Cu-M00), для которого было известно значение удельной теплоёмкости, в температурном диапазоне от 300 до 800 К. Значения C_p для образцов из сплава АЖ2.18 с лантаном описывается выражением:

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (2)$$

Значение коэффициентов уравнения (2) представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов a, b, c, d уравнении (2) для
алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном и эталона (Cu марки М00)

Содержание лантана в образцах, мас %	a , кДж/(кг·К)	$b \cdot 10^{-2}$, кДж/(кг·К ²)	$c \cdot 10^{-5}$, кДж/(кг·К ³)	$d \cdot 10^{-9}$, кДж/(кг·К ⁴)	Коэффициент корреляции (R^2)
0.0	-1.37	0.01	-1.68	8.56	0.99
0.1	-1.84	1.44	-2.18	11.5	0.99
0.5	-1.81	1.43	-2.14	11.2	0.99
2.5	-1.51	1.26	-1.82	9.24	0.99
Эталон	0.33	0.03	-0.02	0.01	1.00

В таблице 2 приведены рассчитанные данные удельной теплоёмкости C_p для образцов из сплава АЖ2.18 с различными содержаниями лантана через каждые 100 К. Видно, что в исследованном температурном интервале с ростом температуры теплоемкость алюминиевых сплавов растёт.

Таблица 2 – Температурная зависимость удельной теплоемкости (Дж/(кг·К)) алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном и эталона (Cu марки М00)

Содержание лантана в образцах, мас%	300 К	400 К	500 К	600 К	700 К	800 К
0.0	0.8291	1.1298	1.3000	1.3910	1.4541	1.5407
0.1	0.8501	1.1896	1.3691	1.4576	1.5241	1.6376
0.5	0.8560	1.2024	1.3896	1.4848	1.5552	1.6580
2.5	0.8807	1.2186	1.3942	1.4930	1.5605	1.7121
Эталон	0.3850	0.3977	0.4080	0.4196	0.4251	0.4336

Из таблицы 2 следует, что с увеличением концентрации лантана теплоемкость исходного сплава АЖ2.18 незначительно увеличивается.

Выводы.

1. В режиме «охлаждения» исследована температурная зависимость теплоемкости алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном.
2. Установлено, что с ростом температуры и содержания лантана теплоемкость сплавов увеличивается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pather, P.D. Debye temperatures of silver and aluminium of high temperatures Some new correlation / P.D. Pather, N.P. Shah // J. Phys. Stat. Sol. – 1979. – V. 55a. – № 2. – P. 159–163.
2. The elastic constant for single crystals bismuth and tin from temperature to the melting point / E.W. Kammer, L.C. Cardinal, E.W. Kammer [et al.] // J. Phys. Chem. Sol. – 1972. – V. 33. – P. 1891–1898.
3. Thermal properties of matter, V.10. Thermal diffusivity ed by Toulokian / Plenum. –1973. – P. 649.
4. Hunkeler F., Bohni H. Mechanism of pit growth on aluminum under open circuit conditions // Corrosion (USA). – 1984. – Vol. 40. – No. 10. – P. 534–540.
5. Умаров М.А., Ганиев И.Н. Температурная зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций свинца марки С2 // Известия Самарского научного центра РАН. – 2018. – Т. 20. – № 1. – С. 23–29.
6. Азимов Х.Х., Ганиев И.Н., Амонов И.Т., Ибрахимов Н.Ф. Влияние лития на теплоёмкость и изменение термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ2,18 // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2018. – Т. 16. – № 1. – С. 37–44.
7. Ганиев И.Н., Норова М.Т., Эшов Б.Б., Ибрахимов Н.Ф., Ибрахимов С.Ж. Влияние добавок скандия на температурную зависимость теплоемкости и термодинамических функций алюминий-магниевого сплава // Физика металлов и металловедение. – 2020. – Т. 121. – № 1. – С. 25–31.

УДК 004.942.001.57

И.Н. Ганиев, акад., д-р хим. наук НАН Таджикистана
(ИХ им. В.И. Никитина НАН Таджикистана, г. Душанбе, Таджикистан);

Ф. Холмуродов, доц., канд. физ.-мат. наук;

А.Г. Сафаров, доц., докт. техн. наук;

А. Зубайдов, магистрант, (ФТИ им. С.У. Умарова НАН Таджикистана,
г. Душанбе, Республика Таджикистан)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АЛЮМИНИЕВО-ЖЕЛЕЗОВОГО СПЛАВА АЖ2.18 С ЛАНТАНОМ

Зная основные закономерности, присущие термодинамическим системам, и владея аппаратом дифференциальных уравнений термодинамики, мы можем приступить к рассмотрению термодинамических свойств веществ, обращая при этом главное внимание на анализ характера зависимостей, связывающих одни свойства вещества с другими.

Предметом нашего рассмотрения будут термодинамические свойства, такие как энтропия, энтальпия и энергия Гиббса. Непосредственно измерить эти величины невозможно. Их можно определить только расчетным путем с помощью дифференциальных уравнений термодинамики по известным значениям других термодинамических величин.

Как и в других случаях, для расчета различных термодинамических процессов представляет интерес не абсолютное значение этих величин, а их изменения в этих процессах. При проведении расчетов термодинамических функций широко используются зависимости теплоемкости веществ от температуры.

В данной работе представлены результаты расчета изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном, по известной удельной теплоемкости эталонного образца из меди с использованием методики измерения скоростей охлаждения образцов.

Теплоемкость алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном измеряли в режиме «охлаждения» по методикам, описанным в работах [1-5]. Значения удельной теплоемкости (C_p) сплава АЖ2.18 определялись сравнением с эталонным образцом (Cu-M00), для которого было известно значение удельной теплоемкости, в температурном диапазоне от 300 до 800 К. Значения C_p от температуры для образцов из сплава АЖ2.18 описывается выражением:

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (1)$$

Следующим этапом является расчет изменения термодинамических характеристик алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном в зависимости от температуры.

В соответствии с уравнением (1) были получены следующие выражения для температурных зависимостей энтальпии, энтропии и энергии Гиббса:

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (2)$$

$$[S^0(T) - S^0(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (3)$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (4)$$

Результаты расчётов изменений термодинамических характеристик сплавов через каждые 100 К представлены в таблице.

Согласно данным таблицы можно констатировать, что с повышением в образцах сплава АЖ2.18 содержания лантана в пределах от 0.1 до 2.5 мас. % энтальпия и энтропия увеличиваются, а энергия Гиббса уменьшается.

Таблица – Изменение энтальпии, энтропии и энергии Гиббса от температуры для образцов из алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном и эталона (Cu марки М00)

Содержание лантана в сплаве, мас.%	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
$[H^0(T) - H^0(T_0)], \text{кДж/кг}$						
0,0	1.5273	100.773	223.143	358.134	500.407	649.737
0.1	1.5650	105.171	234.152	375.958	524.938	682.344
0.5	1.5760	106.103	236.749	380.956	532.883	693.409
2.5	1.6220	107.500	238.593	383.447	536.155	696.354
Эталон	0.7120	39.8686	80.1679	121.419	163.5173	206.4419
$[S^0(T) - S^0(T_0)], \text{кДж/(кг·К)}$						
0,0	0.0051	0.2886	0.5609	0.8068	1.0260	1.2252
0.1	0.0054	0.3010	0.588	0.8460	1.0760	1.2860
0.5	0.0055	0.3040	0.594	0.8570	1.0910	1.3050
2.5	0.0054	0.3080	0.599	0.8630	1.0990	1.3120
Эталон	0.0024	0.1149	0.2048	0.2800	0.3449	0.4022
$G^0(T) - G^0(T_0), \text{кДж/кг}$						
0,0	-0.0050	-14.645	-57.308	-125.923	-217.766	-330.453
0.1	-0.0058	-15.210	-59.860	-131.830	-228.150	-346.785
0.5	-0.0051	-15.330	-60.420	-133.240	-230.860	-350.785
2.5	-0.0050	-15.601	-61.161	-134.560	-232.869	-353.556
Эталон	-0.0022	-6.1074	-22.243	-46.585	-77.903	-115.311

Из таблицы следует, что с ростом температуры энтальпия и энтропия сплавов растут, а значение энергии Гиббса снижается.

Выводы.

Показано, что для алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном изменений энтальпии, энтропии с повышением концентрации модифицирующего компонента и температуры растут, а значение энергии Гиббса снижается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зокиров Ф.Ш., Ганиев И.Н., Бердиев А.Э., Ибрахимов Н.Ф. Температурная зависимость теплоемкости и термодинамических функций сплава АК12М2, легирующего стронцием // Известия Санкт-Петербургского государственного технического института (технологического университета). – 2017. – № 41 (67). – С. 22–26.

2. Эсанов Н.Р., Ганиев И.Н., Хакимов А.Х., Ибрахимов Н.Ф. Влияние иттрия на удельную теплоемкость и изменение термодинамических функций сплава АЖ2.18 // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия техника и технология. – 2018. – Т. 8. – № 2 (27). – С. 75–84.

3. Муллоева Н.М., Ганиев И.Н., Эшов Б.Б., Аминбекова М.С. Температурная зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций сплавов системы Рb-Ва // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 2018. – № 2. – С. 69–75.

4. Ганиев И.Н., Отаджонов С.Э., Ибрахимов Н.Ф., Махмудов М., Сангов М.М. Температурная зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций сплава АК1, легированного кальцием // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2018. – № 2 (42). – С. 17–21.

5. Ганиев И.Н., Норова М.Т., Эшов Б.Б., Ибрахимов Н.Ф., Ибрахимов С.Ж. Влияние добавок скандия на температурную зависимость теплоемкости и термодинамических функций алюминиево-магниевого сплава // Физика металлов и металловедение. – 2020. – Т. 121. – № 1. – С. 25–31.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ ДИФРАГИРУЮЩИХ ВОЛН

Рассмотрим средний по времени поток электромагнитной энергии, проходящий через поверхность Σ , который определяется с помощью усреднённого вектора Умова-Пойтинга [1]:

$$\langle \vec{S} \rangle = \frac{1}{2} \operatorname{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*). \quad (1)$$

Данный поток через n плоскость $Z = \text{const}$ и он будет равен ($\vec{n} = \{0, 0, 1\}$) и в общем виде имеет вид

$$N = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (\vec{E} \times \vec{H}^*) \vec{n} dx dy. \quad (2)$$

Выражение для напряжённости электрического поля \vec{E} возьмём в следующей форме:

$$\vec{E}(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \vec{E}(k_x, k_y; z') e^{-ik_z z'} e^{ik\vec{x}} dk_x dk_y, \quad (3)$$

где $\vec{x} = \{x, y, z\}$.

В этом случае соотношение (3) представляет собой разложение $\vec{E}\{x, y, z\}$ по плоским (в том числе и неоднородным) волнам. Теперь запишем для напряжённости \vec{E} выражение в форме (3) с учётом, что $z' = 0$

$$\vec{E}(x) = \iint \vec{E}(k_x, k_y) e^{ikx} dk_x dk_y. \quad (4)$$

Напряжённость магнитного поля \vec{H} определим с помощью уравнения Максвелла:

$$i\omega\mu_0\vec{H} = \operatorname{rot}\vec{E}. \quad (5)$$

На основании выражений (4) и (5) получим, что

$$\vec{H}^* = \frac{1}{\mu_0\omega} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (k_{1x}^* \vec{E}^*(k_1)) e^{ik_1^* x} dk_{1x} dk_{1y}, \quad (6)$$

где $\vec{k}_1^* = \{k_{1x}, k_{1y}(\sqrt{k^2 - k_{1x}^2 - k_{1y}^2})^*\}$, т.е., если (6) $k_{1x}^2 + k_{1y}^2 - k^2 > 0$, то $k_{1x}^* = -i\sqrt{k_{1x}^2 + k_{1y}^2 - k^2}$.

Подставим (4) и (6) в выражение (2), и мы получим выражение в виде шестикратного интеграла. Интегрирование по x и y даёт δ -функции:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{i[(k_x - k_{1x})x + (k_y - k_{1y})y]} dx dy = (2\pi)^2 \delta(k_x - k_{1x}) \delta(k_y - k_{1y}). \quad (7)$$

Поэтому для усреднённого потока энергии получим:

$$\begin{aligned} & \iint \langle S \rangle_z dx dy = \\ & = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \frac{(2\pi)^2}{\mu_0 \omega} \iint (\vec{E}(\vec{k}) \times (\vec{k}^* \times \vec{E}^*(\vec{k}))) \vec{n} \times e^{-2im\sqrt{k^2 - k_x^2 - k_y^2}z} dk_x dk_y \end{aligned} \quad (8)$$

Рассмотрим в выражении (8) двойное векторное произведение и учтём, что на основании уравнения

$$\operatorname{div} \vec{E} = 0,$$

из выражения (4) получаем уравнение:

$$\vec{k} \vec{E}(\vec{k}) = 0, \quad (9)$$

$$(\vec{E} \times (\vec{k}^* \times \vec{E}^*)) = \vec{k}^* (\vec{E} \vec{E}^*) - \vec{E}^* (\vec{k}^* \vec{E}) = \vec{k}^* (\vec{E} \vec{E}^*) + \vec{E}^* (k_z - k^*) E_z. \quad (10)$$

Из этого выражения (10) следует, что

$$\operatorname{Re}(\vec{E} \times (\vec{k}^* \times \vec{E}^*)) \vec{n} = \vec{E} \vec{E}^* (\vec{k} \vec{n}) \theta(k^2 - k_x^2 - k_y^2). \quad (11)$$

Тогда для среднего по времени потока энергии получим:

$$\iint \langle S \rangle_z dx dy = \frac{(2\pi)^2}{2\mu_0 \omega} \iint_{k_x^2 + k_y^2 < k^2} \vec{E}(\vec{k}) \vec{E}^*(\vec{k}) k_z dk_x dk_y,$$

$$\text{где } k_z = \sqrt{k^2 - k_x^2 - k_y^2} \quad (12)$$

Из последнего соотношения (12) видно, что средний поток энергии не зависит от положения плоскости $Z = \text{const}$, хотя предполагалось, что $z \geq 0$. Здесь левую часть (12) можно рассматривать, как поток через плоскость $z = 0$, а правую часть – поток, связанный с дифрагирующими волнами в области $z > 0$. Вместо вектора \vec{k} введём углы θ и ψ , т. е. перейдём к сферической системе координат, положив:

$$k_x = k \sin \theta \cos \psi, k_y = k \sin \theta \sin \psi, k_z = k \cos \theta. \quad (13)$$

Учтём, что

$$dk_x dk_y = k^2 \cos \theta d\Omega = k^2 \cos \theta \sin \theta d\theta d\psi, \quad (14)$$

получим для потока энергии

$$\iint \langle S \rangle_z dx dy = \frac{(2\pi k)^2}{2\mu_0 \omega} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} [\vec{E}(k_x, k_y)]^2 \cos \theta \sin \theta d\theta d\psi. \quad (15)$$

Когда поток дифрагирующих волн рассматривается на достаточно большом расстоянии от объекта дифракции, т. е. $kR_0 \rightarrow \infty$, где $R_0 = \{x, y, z\}$ (объект дифракции расположен вблизи начала координат),

то $\vec{E}(k_x, k_y)$ можно выразить через $\vec{E}(x, y, z)$ и проводя асимптотическое вычисление интеграла (4) получим, что

$$\begin{aligned} \vec{E}(x, y, z) &= \iint \vec{E}(k_x, k_y) e^{i\vec{k}\vec{R}_0} dk_x dk_y = \vec{E}(k_{0x}, k_{0y}) e^{ikR_0} \iint e^{i(\vec{k}\vec{R}_0 - kR_0)} dk_x dk_y = \\ &= \vec{E}(k_{0x}, k_{0y}) e^{ikR_0} \frac{2\pi k \cos \theta}{iR_0}. \end{aligned} \quad (16)$$

В выражении (16) углы θ и ψ связаны с координатами точки Φ соотношением $x = R_0 \sin \theta \cos \psi$, $y = R_0 \sin \theta \sin \psi$, $z = R_0 \cos \theta$, а k_{0x}, k_{0y} при этом определяются, согласно выражения (6). Учитывая выражение (16) выражение (15) запишем в виде:

$$\iint \langle S \rangle_z dx dy = \frac{1}{2\mu_0 \omega} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} [\vec{E}(x, y, z)]^2 R_0^2 \sin \theta d\theta d\psi. \quad (17)$$

Правая часть выражает поток энергии дифрагирующих волн через половину поверхности сферы радиуса R_0 . Действительно, поле в точке Φ , определяемой вектором \vec{R}_0 , является суперпозицией плоских волн, для которых $\frac{\vec{k}}{x} \approx \frac{\vec{R}_0}{R_0}$. Поэтому для напряжённости магнитного поля имеем

$$\vec{H}(x, y, z) \approx \frac{1}{\mu_0 \omega} (\vec{k} \times \vec{E}) \text{ и } \vec{k}\vec{E} = 0. \quad (18)$$

Выберем элемент сферы df и запишем поток энергии через этот элемент. Элемент сферы будет иметь вид:

$$df = R_0^2 \sin \theta d\theta d\psi \left(\frac{\vec{R}_0}{R_0} \right),$$

а поток энергии через элемент сферы df имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \text{Re}(\vec{E}(x) \times \vec{H}^*(x)) df &= \frac{1}{2\mu_0 \omega} (\vec{E} \times (\vec{k} \times \vec{E}^*)) = \\ &= \frac{1}{2\mu_0 \omega} |\vec{E}(x)|^2 \vec{k} df = \frac{1}{2\mu_0 \omega} |\vec{E}(x)|^2 df. \end{aligned} \quad (19)$$

Сравним выражение (19) с подынтегральным выражением правой части (17) и отметим, что интеграл в правой части (17) описывает поток энергии через половину поверхности сферы радиуса R_0 .

В заключение рассмотрим волновой пакет, образованный суммой n плоских волн в виде интеграла (4), отметим, что вектор

$\vec{E}(k_x, k_y)$ отличен от нуля лишь в малой области $k_{0x} < k_x < k_{0x} + \Delta k_x$, $k_{0y} < k_y < k_{0y} + \Delta k_y$ [2].

Укажем, что для суммы волновых пакетов Фурье-компоненты, которых не перекрываются (т.е. в этом случае $E_i(k_x, k_y) \cdot E_j^*(k_x, k_y) = 0$), если $i \neq j$), то мы получим:

$$\vec{E}(x, y, z) = \sum_i \vec{E}_i^*(x); \quad \vec{H}^*(x, y, z) = \sum_i \vec{H}_i^*(x),$$

$$N = \frac{1}{2} \sum_{ij} \operatorname{Re} \iint (\vec{E}_i(x) \times \vec{H}_j^*(x)) dx dy = \frac{(2\pi)^2}{2\mu_0\omega} \iint \sum_{ij} (\vec{E}_i(k_x, k_y) \vec{E}_j^*(k_x, k_y)) k_z dk_x dk_y$$

$$= \frac{(2\pi)^2}{2\mu_0\omega} \iint_{k^2 > k_x^2 + k_y^2} \sum_i (\vec{E}_i(k_x, k_y) \vec{E}_i^*(k_x, k_y)) dk_x dk_y. \quad (20)$$

Из последнего (20) выражения следует, что волновые пакеты не интерферируют между собой, несмотря на то, что в отдельных частях пространства волновые пакеты могут перекрываться, т. е.

$$N = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \sum_{ij} \iint (\vec{E}_i(x) \times \vec{H}_j^*(x)) dx dy = \frac{1}{2} \sum_i \iint (\vec{E}_i(x) \times \vec{H}_i^*(x)) dx dy. \quad (21)$$

Выражение (21) показывает, что волны, дифрагирующие по разным направлениям, можно рассматривать независимо друг от друга.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Матвеев, А.Н. Оптика/ А.Н. Матвеев. – М.: Высшая школа. – 1985. – 452с.
2. Калитиевский, Н.И Волновая оптика: Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / Н.И. Калитиевский – М.: Высшая школа, – 1995. – 463 с.

УДК: 539.143.43; 539.143.42

В.А. Картошкин, гл. науч. сотр., д-р физ.-мат. наук
(ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия)

СДВИГИ ЧАСТОТЫ МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ЩЕЛОЧНЫХ АТОМОВ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ АТОМОВ

Суть явления оптической ориентации атомов состоит в передаче углового момента от линейно или циркулярно поляризованного резонансного излучения ансамблю атомов в основном или возбужденном состоянии. Как следствие получается поляризованный по спину ансамбль атомов. Полученный таким образом ансамбль атомов может

быть использован в качестве рабочей среды в приборах квантовой электроники таких, как квантовые магнитометры с оптической накачкой, квантовые стандарты частоты и времени, квантовые гироскопы.

В этих приборах в качестве рабочих сред и объектов оптической ориентации используются как атомы щелочных металлов, так и их смеси. Источником информации в подобного рода устройствах является линия магнитного резонанса ориентированных атомов ширина и положение которой зависит от величины внешнего магнитного поля, столкновительных процессов с участием поляризованных атомов, диффузии и так далее.

Фактором, влияющим на точность устройств, является соответствие частоты линии магнитного резонанса приложенному внешнему магнитному полю.

Целью работы является теоретическое исследование спин обменных столкновений с участием оптически ориентированных щелочных атомов для определения температурных зависимостей величин сдвигов для различных пар щелочных атомов в условиях оптической ориентации с целью установления оптимальных условий для построения квантовых магнитометров с оптической накачкой на смесях щелочных атомов (КМОН).

В настоящей работе будут рассмотрены сдвиги частоты линии магнитного резонанса, обусловленные спиновым обменом между разными щелочными атомами в случае, когда один из атомов оптически ориентирован резонансным циркулярно-поляризованным оптическим излучением, а другой атом может быть поляризован в процессе столкновения. Подобного рода ситуация возникает в случае тандемных КМОН, работающих на смесях щелочных атомов [1, 2].

Столкновения щелочных атомов происходят при температурах, при которых время сверхтонкого взаимодействия существенно меньше времени столкновения, составляющего около 10^{-12} с; поэтому процесс спинового обмена можно рассматривать как эволюцию спинов электронов в момент столкновения.

Затем в промежутке между столкновениями электронная поляризация перераспределяется между электронными и ядерными степенями свободы щелочного атома. Молекула, образовавшаяся в процессе столкновения двух щелочных атомов, в основном состоянии может быть описана стандартным образом двумя слагаемыми, соответствующими полным электронным спинам системы $S_1 = 0$ и $S_2 = 1$.

Следовательно, необходимо знать синглетные и триплетные потенциалы димера, соответствующие полным спинам $S_1 = 0$ и $S_2 = 1$ со-

ответственно, для описания системы двух сталкивающихся щелочных атомов в терминах комплексных сечений спинового обмена [3].

При столкновении двух поляризованных атомов щелочных металлов, находящихся в основном состоянии, происходит известный процесс спинового обмена. Этот процесс можно описать комплексным сечением:

$$q^{AB} = \overset{-}{q}^{AB} + i \overset{=}{q}^{AB}. \quad (1)$$

Действительная часть сечения определяет перенос ориентации при столкновении частиц, релаксацию и образование высших поляризационных моментов (выравнивание, сверхтонкая поляризация). Мнимая часть сечения определяет сдвиги частоты магнитного резонанса в системе как зеемановских, так и сверхтонких уровней атомов. Комплексное сечение спинового обмена можно условно представить через матрицу рассеяния:

$$q^{AB} = \frac{\pi}{k_{AB}^2} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) \cdot \left[1 - T_0^{AB}(l) \cdot T_1^{AB}(l)^* \right] \quad (2)$$

Здесь k^2 – волновой вектор, μ_{AB} – приведенная масса сталкивающихся частиц А и В, v_{AB} – средняя относительная скорость сталкивающихся атомов, l – орбитальное квантовое число, звездочка * обозначает комплексное сопряжение. Матрицу рассеяния можно представить через фазы рассеяния $\delta_S^{AB}(l)$ в канале с полным спином S следующим образом:

$$T_S^{AB}(l) = \exp\left(2i\delta_S^{AB}(l)\right) \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что действительная и мнимая части комплексного сечения имеют вид:

$$\overset{-}{q}^{AB} = \frac{\pi}{k_{AB}^2} \sum_{l=1}^{\infty} (2l+1) \cdot \sin^2 \left[\delta_1^{AB}(l) - \delta_0^{AB}(l) \right], \quad (4)$$

$$\overset{=}{q}^{AB} = \frac{\pi}{k_{AB}^2} \sum_{l=1}^{\infty} (2l+1) \cdot \sin 2 \left[\delta_1^{AB}(l) - \delta_0^{AB}(l) \right]. \quad (5)$$

Таким образом, для расчета интересующих нас сечений необходимо вычислить фазы рассеяния на синглетном и триплетном термах.

Сдвиг частоты магнитного резонанса на сверхтонких подуровнях основного состояния щелочного атома может быть представлен в виде:

$$\delta^{(1)}\omega(+)= -\frac{P_z(B)}{2(2I_A+1)} \left[\overset{=}{\gamma}_{AB} - \overset{=}{\gamma}_{AA} \cdot B_- \left(\frac{2I_A-1}{2I_A+1} \right)^{1/2} \right], \quad (6)$$

$$\delta^{(1)}\omega(-)= -\frac{P_z(B)}{2(2I_A+1)} \left[\overset{=}{\gamma}_{AB} + \overset{=}{\gamma}_{AA} \cdot B_- \left(\frac{2I_A+3}{2I_A+1} \right)^{1/2} \right]. \quad (7)$$

Здесь $\delta^{(1)}\omega(+)$ и $\delta^{(1)}\omega(-)$ – сдвиги частоты на F_1 и F_2 сверхтонких состояниях основного состояния щелочного атома A ($F_1 = I - S$ – нижнее сверхтонкое состояние, а F_2 – верхнее сверхтонкое состояние), $P_z(B)$ – степень поляризации щелочного атома B (атом, на который поляризуется в процессе оптической ориентации), I_A – ядерный спин атома A , γ_{AB} и γ_{AA} – мнимые части комплексной скорости спинового обмена γ , которая может быть выражена через мнимые части комплексного сечения спинового обмена ($\gamma_{AB} = \langle v_{AB} \rangle N_B \sigma_{AB}$, где N_B – концентрация частиц сорта B , $\langle v_{AB} \rangle$ – средняя относительная тепловая скорость сталкивающихся частиц, σ_{AB} – сечение спинового обмена сталкивающихся частиц (мнимая часть), усредненное по скоростям). Коэффициенты B_- и B_+ зависят от величины ядерного спина частицы A и равны:

$$B_+ = \frac{2I_A + 2}{6} \left(\frac{2I_A + 3}{2I_A + 1} \right)^{1/2}, B_- = \frac{2I_A}{6} \left(\frac{2I_A - 1}{2I_A + 1} \right)^{1/2}.$$

На рис. 1 приведены сдвиги частоты магнитного резонанса.

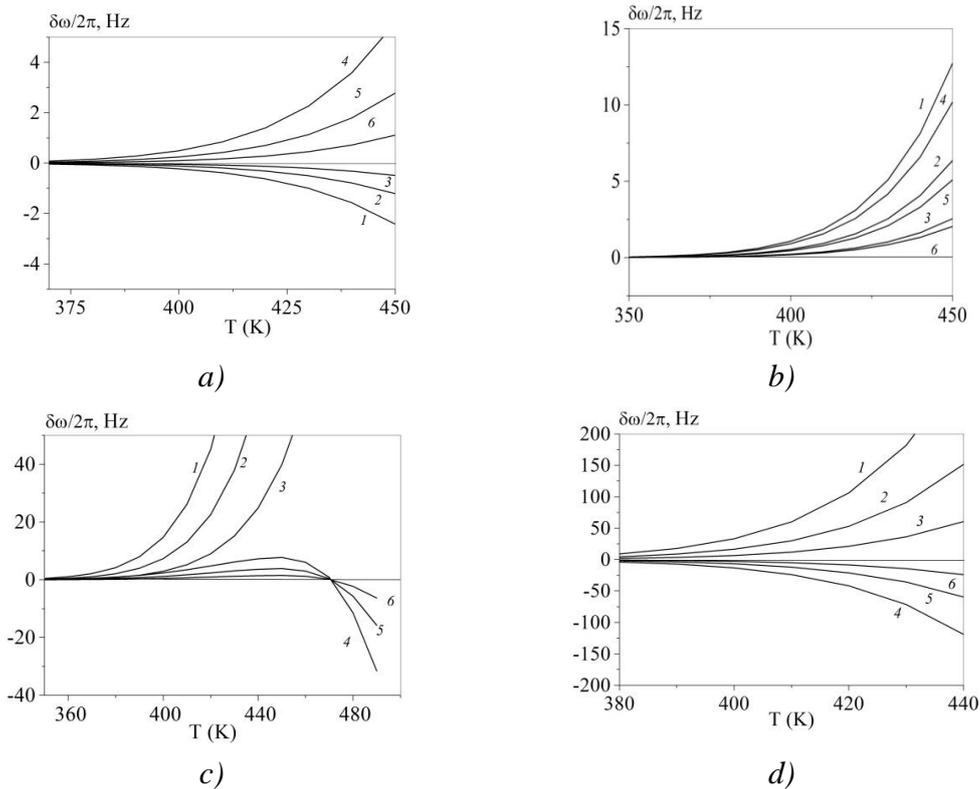


Рисунок 1 – Температурные зависимости сдвига частоты магнитного резонанса атомов Cs (a) при накачке атомов K и атомов K (б) при накачке атомов Cs в смеси K-Cs; атомов K (c) при накачке атомов Rb и атомов Rb (d) при накачке атомов K в смеси K-Rb.

1 – $\delta^{(1)}\omega(+)/2\pi$, $P_z(B) = 100\%$; 2 – $\delta^{(1)}\omega(+)/2\pi$, $P_z(B) = 50\%$; 3 – $\delta^{(1)}\omega(+)/2\pi$, $P_z(B) = 20\%$; 4 – $\delta^{(1)}\omega(-)/2\pi$, $P_z(B) = 100\%$; 5 – $\delta^{(1)}\omega(-)/2\pi$, $P_z(B) = 50\%$; 6 – $\delta^{(1)}\omega(-)/2\pi$, $P_z(B) = 20\%$.

Из представленных результатов видно, что сдвиги частоты магнитного резонанса щелочных атомов в смеси существенно зависят как от значений мнимых частей комплексных сечений спинового обмена.

Так же концентрация щелочных атомов и сечения существенно зависят от температуры в камерах поглощения. Величина и знак сдвига зависят также от величины ядерного спина атома, для которого наблюдается сдвиг частоты.

Температурные зависимости значений сдвига могут проходить через нуль (рис. 1с), что позволяет путем подбора рабочих температур реализовать ситуацию, когда сдвиг частоты исчезает, т. е. становится возможным избежать отрицательного влияние процесса спинового обмена на систему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Е.Б., Балабас М.В. [и др.]. Новая версия квантового магнитометра: однокамерный Cs–K тандем на четырехквантовом резонансе в ^{39}K . // ЖТФ – 2000. – Т. 70. – № 7 – С. 118–124.

2. Chen Y., Quan W., Zou S., Lu Y., Duan L., Li Y., Zhang H., Ding M. and Fang J. Spin exchange broadening of magnetic resonance lines in a high-sensitivity rotating K-Rb- ^{21}Ne co-magnetometer. // Scientific Reports – 2016. – Vol. 6 – 36547. – URL: <https://doi.org/10.1038/srep36547>.

3. Kartoshkin V.A. The Interaction between Spin Polarized Alkali Atoms: Shifts of the Magnetic Resonance Lines // в книге Alkali metals: new research. Nova Science Publishers, INC. – 2023 – P. 1–32.

УДК 811.111(075.8)

Ю.В. Ефимова, доц. кафедры КиТС, канд. п. наук;
Л.В. Теплых, доц. кафедры КиТС, канд. п. наук
(Чистопольский филиал «Восток»
КНИТУ им. А.Н.Туполева – КАИ, г. Чистополь, Россия)

РАЗРАБОТКА И АППРОБАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ЛЕКСИЧЕСКИХ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ УСВОЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЛЕКСИКИ СТУДЕНТАМИ ИТ – СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Стремительные изменения во всех сферах нашей жизни вызывают необходимость непрерывающегося усовершенствования знаний, поскольку это единственное условие поддержания достаточной компетентности и конкурентоспособности специалиста [1]. Это особенно актуально для выпускников ИТ специальностей, т.к. их работа

связана с наукоемкими и быстро изменяющимися технологиями [2]. В ФГОС+++ прописано, что выпускники направления 09.03. 01 Информатика и вычислительная техника должны владеть такими компетенциями, как:

УК-4. Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)

ОПК-5. Способен инсталлировать программное и аппаратное обеспечение для информационных и автоматизированных систем;

ОПК-8. Способен разрабатывать алгоритмы и программы, пригодные для практического применения.

Мы поставили своей задачей повысить эффективность усвоения данных компетенций, объединив потенциал двух дисциплин – профессиональный иностранный язык и программирование. Так сложилось, что разработка программно-аппаратных частей компьютерной техники и языков программирования изначально велась с использованием английского языка. Кроме того, узкоспециализированную информацию или документацию в некоторых областях программирования в интернете намного легче найти на английском языке.

Углубленное изучение английского языка будущим IT специалистам необходимо по ряду причин:

- на любом языке программирования в процессе компиляции и отладки исходного кода системные сообщения, например, об ошибках в синтаксисе система выдает на английском языке.

- практически в любом языке программирования основные ключевые слова и названия конструкций представляют собой английские слова, и, понимая перевод этих ключевых слов легче запомнить их функциональное назначение.

- весьма часто названия функций языка программирования C++ получены посредством «выбрасывания» гласных букв из слов или сочетаний английского языка, обозначающих действия, выполняемые этими функциями.

С другой стороны, современные программные обучающие средства обладают потенциалом усовершенствоваться с течением времени [3]. Исходя из этого разработан программный комплекс для усвоения профессиональной английской лексики, позволяющий оценивать практические результаты ее использования в учебном процессе.

На рис. 1 представлена структурно-функциональная модель оптимизации усвоения профессиональной лексики IT-средствами, которая стала основой разработки программного комплекса.

Модель включает две части: блок анализа и сбора лексических единиц и функциональный блок. Блок анализа и сбора лексических единиц включает в себя:

- сбор исходных кодов. В процессе работы произведен анализ программных кодов лабораторных и практических работ, выполняемых в ходе изучения IT дисциплин и программных кодов, написанных на разных языках программирования и предоставленных выпускниками, работающими в сфере программирования.

- выбор профессиональной лексики. Была отобрана специальная литература по английскому языку, используемая в рамках учебных дисциплин IT профиля, а также проведен анализ существующих глоссариев для поиска профессиональных IT терминов, употребляемых наиболее часто.

- компьютерная обработка. На данном этапе выполнено распределение лексических единиц из выборки исходных кодов и профессиональной лексики, полученной на предыдущем этапе, для получения упорядоченного списка часто встречаемых слов. Далее были удалены зарезервированные, служебные и другие символы и слова (например, комментарии, служебные слова английского языка, интернациональная лексика). Полученный набор данных подвергнут частотному анализу для определения наиболее часто встречаемых, значимых лексических единиц [4]. На этапе дальнейшего анализа произведено частотное упорядочивание набора тестовых данных и его подразделение на три группы по частоте встречаемости лексических единиц [5]: слова, которые встречаются 2 раза и более на 300 слов; редко используемые, но значимые лексические единицы, которые встречаются 1 раз на 800 слов; вся остальная отобранная лексика.

- ручная обработка требуется для исключения из полученного на этапе компьютерной обработки набора лексических единиц слов, менее значимых с точки зрения совершенствования профессионального английского языка. Данная обработка подразумевает, во-первых, фильтрацию слов из первой группы по следующим параметрам: удаляются слова или словосочетания, которые используются редко или ситуативно; сокращения заменяются полным словом или словосочетанием. Во-вторых, удаление слов из второй группы, которые, преподаватель иностранного языка не считает значимыми или часто используемыми. В-третьих, дополняются переводом на русский язык английские слова или словосочетания, на основе изучения англоязычных интернет-ресурсов и профессиональных форумов IT-специалистов и программистов.

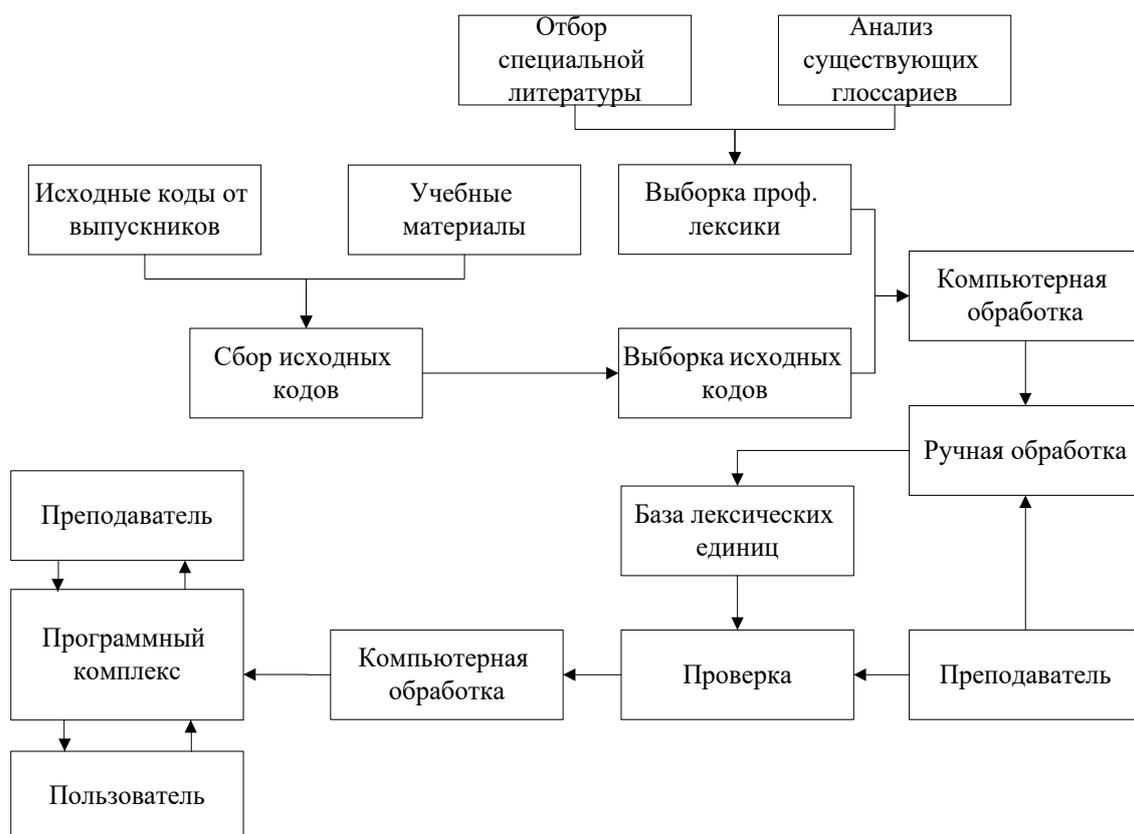


Рисунок 1 – Структурно-функциональная модель оптимизации усвоения профессиональной лексики ИТ-средствами

Второй частью модели является исполняемый программный блок для обучения и тестирования, в основе которого лежит полученная база лексических единиц. Программный блок включает функционал для изучения, закрепления и тестирования лексики. Он обладает потенциалом для расширения, как с точки зрения лексического содержания, так и в программной реализации.

Работа с программным комплексом возможна в роли «Преподаватель», «Администратор» и «Студент». Например, преподаватель может изменять параметры тренинга и тестирования, а также модифицировать базы лексических единиц.

В ходе апробации программного комплекса были получены следующие результаты:

- у студентов улучшился уровень владения профессиональными английскими лексическими единицами.
- отмечена более легкая и быстрая интерпретация сообщений компилятора о системных событиях.
- повысилась мотивация к изучению иностранного языка, как средства общения в профессиональном ИТ сообществе.

Подводя итоги, считаем, что данный программный комплекс помимо функций тестирования и обучения студентов, несет в себе потенциал к стимулированию их саморазвития в профессиональной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролова, Н. Х. Образовательная модель на основе электронных ресурсов для групповой подготовки программных инженеров / Н. Х. Фролова, И. А. Поваренкина // Инженерное образование. – 2019. – № 26. – С. 84-91.

2. Kun Guo, Haizhi Wang, Xing Ge Lifelong Learning Capabilities of College Students Boosting by Information Technology on Education IERI Procedia volume 2 (2012) 241-246 // 2012 International Conference on Future Computer Supported Education

3. Helena Santos, João Batista, Rui Pedro Marques Digital transformation in higher education: the use of communication technologies by students Procedia Computer Science Vol. 164, 2019, Pages 123-130

4. Харина М.В. Применение частотных словарей в процессе развития англоязычной лексической компетенции студентов ИТ-направлений. Открытое образование. 2018;22(5):65-73.

5. К проблеме создания списка высокочастотных слов и выражений немецкого языка для специальных целей / М. С. Коган, А.М. Ярошевич, А. Ю. Колотаева [и др.] // Компьютерная лингвистика и вычислительные онтологии. – 2018. – № 2. – С. 44-55.

УДК 330

А.Р. Камалова, магистрант;
Л.Л. Надреева, доц., канд. эконом. наук
(КНИТУ-КАИ, г. Казань, Россия)

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Производительность труда является одним из основных показателей эффективности экономической деятельности хозяйствующего субъекта. Это обуславливает актуальность рассматриваемых в статье вопросов.

Об актуальности рассматриваемых вопросов на макроэкономическом уровне свидетельствуют статистические данные, представленные на рисунке 1. Росстат по годам рассчитывает производительность труда в России. Производительность труда принято измерять временной мерой, которая затрачивается на производство единицы продук-

ции или количеством продукции, произведенной работником за определенный временной промежуток. Росстат для расчета индекса производительности труда оценивает соотношение индекса физического объема валового внутреннего продукта периода t к периоду $t-1$ к индексу совокупных затрат труда периода t к периоду $t-1$.

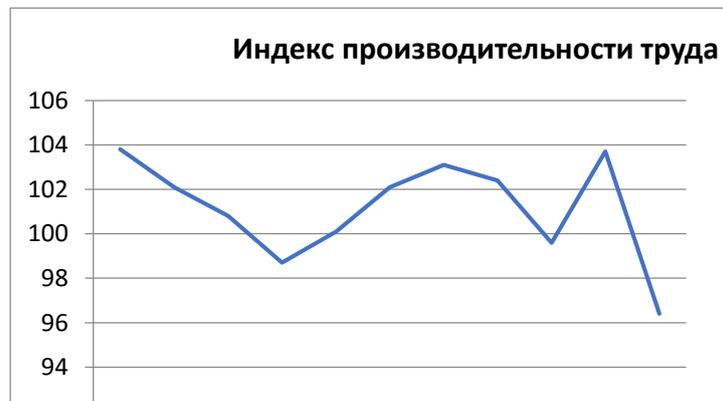


Рисунок 1 – Индекс производительности труда [1]

Из данной диаграммы видно, что по состоянию на 2022 год индекс производительности труда по России значительно снизился по сравнению с индексом 2021 года.

Снижение производительности труда в основном обусловлено низкой загрузкой производства, нестабильным финансовым состоянием предприятий, устаревшим оборудованием и технологиями, отсутствием спроса и низкой конкурентоспособностью выпускаемой продукции, неблагоприятной ситуацией на внешних рынках, некомпетентностью рабочих в области использования высокотехнологичных оборудований. Отчасти эффект объясняется и уходом из России наиболее производительных западных компаний [2].

Для стимулирования роста производительности труда в РФ реализуется нацпроект «Производительность труда и поддержка занятости». Действительно, внедрение на производстве новейших технологий, модернизация основных имеющихся фондов, а также полное технологическое обновление производственных процессов, предусмотренное проектом, является важной задачей для повышения производительности труда. Однако еще больше возможностей для повышения производительности труда предоставляют цифровые технологии. В Российской Федерации в целях стимулирования развития цифровых технологий активно реализуется национальный проект «Цифровая экономика РФ», целью которой является «создание экосистемы цифровой экономики Российской Федерации, в которой данные в цифровой форме являются ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности и в которой обес-

печено эффективное взаимодействие, включая трансграничное, бизнеса, научно-образовательного сообщества, государства и граждан» [3].

Использование цифровых технологий является большим прогрессом в развитии всего человечества в целом и в отношении производительности труда – в частности. Рассуждая о влиянии цифровых технологий на повышение производительности труда, необходимо различать два этапа в их развитии – цифровизацию и цифровую трансформацию. Цифровизация – это внедрение современных цифровых технологий в бизнес-процессы предприятий.

Следующий шаг в развитии цифровых технологий – цифровая трансформация, под которой понимается внедрение цифровых технологий в систему управления компанией для того, чтобы полностью заменить устаревшие способы ведения бизнеса современными альтернативами. [4].

Эти процессы невозможны друг без друга. Цифровая трансформация – глубокие изменения, которые влияют на все бизнес-процессы компании. А цифровизация бизнеса заменяет работу человека или облегчает её в некоторых бизнес-процессах.

Существует несколько способов, с помощью которых можно увеличить эффективность работы в условиях цифровизации. Укажем некоторые из них:

1. Автоматизация процессов – использование специализированных компьютерных программ и технологий для автоматизации рутинных задач и ускорения выполнения рабочих процессов.

2. Облачные технологии – использование облачных сервисов для хранения и обработки данных позволяет сократить время на поиск нужной информации и делиться ею с коллегами.

3. Дистанционная работа – возможность работать из любой точки мира, используя интернет, помогает увеличить гибкость ведения работы и производительности труда.

4. Виртуализация – создание виртуальных рабочих сред, которые позволяют снизить потребление ресурсов и повысить скорость работы.

5. Использование аналитики данных – анализ данных позволяет выявлять тренды и паттерны, оптимизировать рабочие процессы и принимать обоснованные решения [5].

В целом, как уже отмечалось, цифровизация предоставляет огромное количество возможностей для повышения производительности труда, улучшения качества работы и сокращения временных затрат. Важно правильно использовать эти технологии и инструменты,

чтобы максимально эффективно использовать их потенциал. Особенно актуально это для сферы производства, где использование цифровых технологий позволяет автоматизировать многие процессы, что сокращает время на выполнение работ и снижает вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором, сбор данных и их анализ во многом способствует быстрой обработке информации.

На сегодняшний день существует большое количество возможностей на рынке труда с применением новых цифровых технологий. Глобальная пандемия 2020 года продемонстрировала все возможности современного развитого общества мира цифровых технологий, многим компаниям пришлось перестроить свою работу, а также перейти на дистанционный режим, освоив новейшие технологии дистанционных коммуникаций и электронного документооборота. После пандемии 2020 года данная практика ведения работы осталась популярна среди многих компаний. Большое количество профессий, такие как юристы, репетиторы, программисты и т.д., освоили ведение дистанционного режима работы [6].

Вопросы повышения производительности труда актуальны также и для бюджетной сферы, для сферы услуг [7]. Онлайн-сервисы и цифровые платформы упрощают взаимодействие с клиентами, ускоряют процессы обработки информации и улучшают качество обслуживания.

Одним из примеров внедрения цифровых технологий в России является «Единый портал государственных услуг». Цифровая трансформация государственных и муниципальных услуг собрала в себе все необходимые для жизнедеятельности человека направления, связанные с государственным регулированием. Внедрение данного сервиса облегчило жизнь многим людям, заменив поход в необходимое государственное учреждение удаленным доступом, например, для записи на прием, оплату государственной пошлины или другого вида платежа.

Таким образом, можно сказать, что цифровизация помогает увеличить производительность труда в России, делая процессы более эффективными, быстрыми и качественными, меняющими привычный образ жизни. Безусловно, внедрение мероприятий, предусмотренных в нацпроектах, требует существенных затрат, однако будут созданы условия, которые неизбежно приведут к росту производительности труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] / Росстат: URL:

<https://rosstat.gov.ru/folder/11186?print=1>. (дата обращения: 18.02.2024).

2. Занятые, но не сделавшие [Электронный ресурс] / Коммерсантъ: URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6265867> (дата обращения: 25.02.2024).

3. Кумаритова З. А., Ситихова Т. Е. Повышение производительности труда в условиях цифровизации экономики России / З. А. Кумаритова, Т. Е. Ситихова // Финансовые исследования 2019. №4. С. 177-185.

4. Криволапова, К. О. Анализ производительности труда и оценка влияния отдельных факторов на производительность труда / Финансово-экономические и технологические проблемы развития регионов: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции молодых ученых, 2019. С. 120-122.

5. Рудакова О. Ю., Кривошеев А. В., Абрамов Н. М. Повышение производительности труда в условиях цифровой экономики // Управление современной организацией: опыт, проблемы и перспективы, 2023. Т. 18, № 2. С. 59-71.

6. Воропай А. Д. Повышение производительности труда в условиях цифровизации / А. Д. Воропай // Современные вызовы экономики и управления в России в условиях многополярного мира 2021. С. 37-40.

7. Надреева, Л. Л. Проблемы производительности труда в бюджетной сфере / Л. Л. Надреева, А. Г. Баширова // Научное обозрение. – 2015. – № 2. – С. 289-291. – EDN TONPOT.

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА

**Материалы докладов 88-й научно-технической
конференции профессорско-преподавательского
состава, научных сотрудников и аспирантов
(с международным участием)**

Электронный ресурс

В авторской редакции

Компьютерная верстка:

*О.А. Новосельская, Н.В. Ржеутская, А.С. Север, И.К. Асмыкович
С.В. Бушева, Е.О. Черник*

Усл. печ. л. 20,63. Уч.-изд. л. 21,30.

Издатель и полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.