

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет»  
Минское областное отделение РГОО  
«Белорусское общество «ЗНАНИЕ»  
Международное общество ученых технического образования

*Университет 3.0*



## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Материалы докладов 84-й научно-технической конференции,  
посвященной 90-летию юбилею БГТУ  
и Дню белорусской науки  
(с международным участием)**

**3-14 февраля 2020 года**

**Минск 2020**

УДК 004:005.745(06)

ББК 32.97я73

И 74

**Информационные технологии** : материалы 84-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 3-15 февраля 2020 года [Электронный ресурс] / отв. за издание И.В. Войтов; УО БГТУ. – Минск : БГТУ, 2020. – 285 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 информационных систем и технологий В.В. Смелов;  
канд. техн. наук, зав. кафедрой информатики и компьютерной графики Д.М. Романенко;  
канд. техн. наук, декан факультета информационных технологий Д.В. Шиман

Главный редактор

ректор, профессор И.В. Войтов

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Рубан, А. В., Жиляк, Н. А.</i> Использование закрытого блокчейна и протокола peer to peer для защищенного хранения данных.....	8
<i>Urbanovich, P. P., Filipek, L.</i> Internet of things: concepts, risks, security.....	10
<i>Ахраменок, К. А., Жиляк, Н. А.</i> Построение скоринговой модели с использованием логистической регрессии.....	14
<i>Колодко, В. А., Пустовалова, Н. Н.</i> Реализация криптографического алгоритма шифрования.....	17
<i>Ильин, В. В., Пустовалова, Н. Н.</i> Приложение для мобильных устройств, позволяющее вести учёт товаров на складах.....	18
<i>Шавров, О. А., Ali Ahmad Farhat, Mahmoud Jebaee</i> О Стартап-проектах цифровой трансформации бизнес-процессов в недвижимости .....	19
<i>Шутько, Н. П., Урбанович, П. П.</i> Стойкость текстового стеганоконтейнера к искажениям .....	20
<i>Князев, В. П., Жиляк, Н. А.</i> Алгоритм оптимизации поиска маршрута путешествия на основе предпочтений пользователя .....	23
<i>Тарасенко, А. В., Жиляк, Н. А.</i> Сервис для семантического и синтаксического анализа слов.....	25
<i>Бондарчик, Е. Н., Блинова, Е. А.</i> Анализ методов распределения нагрузки преподавателей кафедры университета .....	27
<i>Блинова, Е. А.</i> Алгоритмические особенности использования стегаграфических методов в файлах, основанных на XML-разметке.....	30
<i>Цедрик, А. В., Смелов, В. В.</i> Организация видеоконференций на платформе Asterisk.....	32
<i>Сахонь, Е. С.</i> Виртуальные лабораторные работы по физике на основе технологий 3d-моделирования .....	33
<i>Богатко, А. В., Гурин, Н. И.</i> Эффективность компьютерных образовательных систем для дистанционного обучения.....	34
<i>Паврозин, А. В.</i> О некоторых причинах снижения скорости роста частоты процессора.....	38
<i>Ломонос, Г. В., Романенко, Д. М.</i> Комбинирование методов автоматической классификации текстовой информации .....	41
<i>Вахаб, А., Романенко, Д. М.</i> Структура ключа для стегаграфической системы на основе модификации цветовых параметров изображений.....	45
<i>Белькевич, Р. И., Романенко, Д. М.</i> Особенности разработки имитационной модели процесса защиты передаваемых по двоичным каналам данных на основе многомерной последовательно-параллельной схемы кодирования .....	48
<i>Осоко, С. А.</i> Выбор рационального алгоритма решения задачи трех кубов.....	52
<i>Хворост, В. С.</i> Внедрение пайплайна разработки моделей для игр в обучающий процесс.....	54
<i>Потапенко, Н. И., Коротыш, Т. А.</i> Тема "зеленой энергетики" в веб-дизайне .....	57
<i>Новосельская, О. А., Савчук, Н. А.</i> Особенности формирования цвета в защитных изображениях.....	60
<i>Щербакова, А. Н., Романенко, Д. М.</i> Особенности программной генерации защитных изображений по технологии автотипного цветового синтеза.....	63
<i>Кишкурно, Т. В., Брусенцова, Т. П.</i> Привлекательность и юзабилити	

в оценке качества интерфейса .....	66
<i>Балакир, М. В.</i> Особенности построения uml диаграмм при проектировании веб-систем.....	69
<i>Дятко, А. А.</i> Моделирование траектории движения воздушного объекта .....	71
<i>Ихтиярова, Г. А., Ахатов, М. Ш., Журакулова, Н. Х.</i> Использование виртуального обучения и 3d-технологий по предмету химия .....	72
<i>Пацей, Н. В., Самаль, А. Д., Годун, А. В.</i> Алгоритм многоуровневой классификации объектов изображений на основе error correcting output codes .....	76
<i>Patsei, N. V., Jaber, G.</i> 3D-routing table algorithms in semantic information centric networking .....	79
<i>Шиман, Д. В., Кравцевич, А. В.</i> Применение генетических алгоритмов для топологической оптимизации нейронных сетей .....	81
<i>Рябченко, Е. С., Шиман, Д. В.</i> Метод сравнения эффективности алгоритмов, реализованных на javascript и webassembly .....	84
<i>Якжик, А. А., Наркевич, А. С.</i> Анализ способов распознавания образов.....	86
<i>Карпович, П. И., Яромич, С. С., Пацей, Н. В.</i> Информационно-аналитическая модель управления именованными динамическими объектами контент – ориентированной сети.....	87
<i>Ющик, Д. С.</i> Уязвимости и угрозы мобильных приложений.....	88
<i>Котович, Д. В., Шиман, Д. В.</i> Алгоритмы и методы распределения заданий между несколькими серверами.....	91
<i>Кремко, И. Е., Сухорукова, И. Г.</i> Проблемы детектирования объектов космической съемки .....	94
<i>Наркевич, А. С., Станкевич, В. О.</i> Принцип работы JIT-компилятора выражений.....	95
<i>Парамонов, А. И., Олеферович, А. В.</i> Использование сервиса Google class для организации самостоятельной работы студентов.....	96
<i>Литвинович, И. А., Наркевич, А. С.</i> Методы оптимизации поиска профилей по фотографии в социальных сетях .....	98
<i>Парамонов, А. И.</i> Технологии автоматизации проведения бумажного тестирования .....	100
<i>Щербович, Ж. И., Юрча, И.А.</i> Предложения по повышению качества обслуживания компьютерных классов.....	102
<i>Белодед, Н. И.</i> Информационная система оценки подготовки специалистов с использованием компетенций .....	104
<i>Мисюченко, Е. С., Парамонов, А. И.</i> Идентификация персонала с применением технологии распознавания лиц .....	106
<i>Самаль, А. Д.</i> Классификация изображений на основе методов машинного обучения .....	108
<i>Панченко, О. Л.</i> Программная модель классификации изображений на языке python .....	109
<i>Самаль, Д. И., Понкратов, А. А., Конилов, А. Д.</i> Платформа для изучения роевого поведения роботов с ультразвуковым движителем .....	111
<i>Бильданов, Э. Э., Вихренко, В. С., Пекальски, Я., Цях, А.</i> Адсорбция частиц в кластеробразующих двумерных системах с конкурирующим взаимодействием .....	115
<i>Бокун, Г. С., Гапанюк, Д. В.</i> Влияние ван-дер-ваальсовских взаимодействий на термодинамические и транспортные характеристики твердых электролитов..	118

<i>Гришина, В. С., Вихренко, В. С., Цях, А.</i> Линейное натяжение в основном состоянии SRLA системы .....	121
<i>Гришина, В. С., Вихренко, В. С., Цях, А.</i> Термодинамические особенности SRLA системы .....	124
<i>Гапанюк, Д. В., Грода, Я. Г.</i> Критический параметр решеточного флюида с притяжением ближайших и отталкиванием четвертых соседей на квадратной решетке.....	127
<i>Савва, В. А., Банжак, С.</i> Точные аналитические решения некоторых дифференциальных уравнений квантовой механики методами дискретной математики .....	130
<i>Якименко, А. А.</i> К вопросу о необходимом условии модальной управляемости систем нейтрального типа.....	133
<i>Борковская, И. М.</i> Об условиях стабилизируемости скалярных гибридных дифференциально-разностных систем .....	134
<i>Игнатенко, В. В., Крахотко, В. В., Размыслович, Г. П.</i> Некоторые аспекты n–управляемости дескрипторных динамических систем.....	136
<i>Асмыкович, И. К.</i> О разработке базы данных публикаций по дескрипторным системам .....	139
<i>Волк, А. М., Архипенко, О. А.</i> Расчет минимального диаметра капель сепарируемой жидкости .....	141
<i>Яроцкая, Л. Д., Пыжкова, О. Н.</i> Связь интеграла Конторовича–Лебедева с интегралом типа Коши.....	143
<i>Пыжкова, О. Н., Пономарёва, С.В.</i> Оценка решений задачи Коши для дробно-дифференциальных уравнений .....	148
<i>Архипенко, О. А.</i> О спектрах краевых задач для разностных уравнений.....	149
<i>Шагова, Т. Г.</i> Скошенное аналитическое представление распределений .....	151
<i>Соловьева, И. Ф.</i> Об одном из методов решения сингулярно возмущенных двухточечных краевых задач.....	152
<i>Устилко, Е. В.</i> О решении смешанной задачи для уравнения полуограниченной струны с характеристической первой производной в нестационарном граничном режиме для гладких решений .....	155
<i>Чайковский, М. В.</i> Дифференциальное исчисление как один из инструментов финансового анализа .....	157
<i>Мазель, М. Х., Пиндрик, О. И.</i> О функциональном исчислении обобщенных операторов.....	161
<i>Асмыкович, И. К., Янович, С. В.</i> О специфике преподавания математики в новых условиях.....	162
<i>Бочило, Н. В., Калиновская, Е. В., Ловенецкая, Е. И.</i> Опыт и перспективы создания ЭУМК на базе системы Moodle .....	165
<i>Чернявский, М. М.</i> Аналитическое выражение коэффициентов полинома четвертой степени через коэффициенты полинома шестой степени при наличии линейной связи между корнями данных полиномов .....	168
<i>Ромащенко, Г. С.</i> Подобие вольтерровых операторов в пространстве соболева вектор функций.....	171
<i>Галимова, Е. Ю.</i> Особенности программного обеспечения Internet of Bodies, влияющие на выбор методов тестирования.....	172
<i>Сапаров, Б. Ж., Шералиева, О. А., Холикулов, Э. Б., Тавбаев, Ж. С.</i> Модель установившегося разрушения цилиндрических тел произвольного профиля .....	175
<i>Бабамуратов, К. Х., Разаков, Ж. Х., Саттаров, М. Р.</i> Сверхпроводимость	

и магнитное упорядочение подрешеток меди в керамиках $YBa_2Cu_{3-x}Fe_xO_{7+y}$ .....	178
<i>Бучко, Р. В., Снежко, М. С., Микулич, Р. Ю.</i> Визуализация поверхностных вен человека .....	183
<i>Василенко, В. Н., Фролова, Л. Н., Михайлова, Н. А., Драган, И. В., Щепкина, А. А.</i> Обоснование температурных режимов сушки семян масличных культур в осциллирующих режимах .....	185
<i>Заерко, Д. В.</i> Управление рассеянием свч-поля за счет изменения поляризационных характеристик сегнетоэлектрических материалов .....	189
<i>Заерко, Д. В.</i> Управление перераспределением энергии в спектре рассеянного свч и оптического электромагнитных полей .....	192
<i>Конопацкий, Е. В., Шевчук, О. А.</i> Использование геометрических интерполянтов для численного решения дифференциальных уравнений.....	194
<i>Рахимова, З. А., Бахадиров, Г. А.</i> Динамика валковой пары при подаче плоского материала в зону обработки .....	197
<i>Хайруллаев, И. Н., Нишонов, С. Н.</i> О разрешимости однородной системы частично интегральных уравнений специального вида.....	200
<i>Худайберганов, Г. К., Холмирзаев, Н. Н.</i> Качественная подготовка учителя математики в вузе .....	203
<i>Чернявский, М. М.</i> Аналитическое выражение коэффициентов полинома четвертой степени через коэффициенты полинома шестой степени при наличии линейной связи между корнями данных полиномов .....	206
<i>Shtefan, N. I., Virych, S. I.</i> Transient modes of cylinder piezoelectric transformer under electric impulse excitation .....	209
<i>Ласовский, Р. Н., Пацаган, Т. Н.</i> Монте-карло моделирование твердотельного электролита со сляб геометрией .....	210
<i>Вершиловская, И. В., Крук, Н. Н., Люлькович, Л. А.</i> Влияние гетерозамещения на формирование спектрально-люминесцентных свойств 21-тиа- и 21,23-дитиа-5,10,15,20-тетрафенилпорфирина в растворах ..	211
<i>Кленицкий, Д. В., Крук, Н. Н., Гладкова, Г. А., Маес, В.</i> Взаимосвязь молекулярной конформации и основности макроцикла свободных оснований корролов в основном и нижних возбужденных электронных состояниях .....	214
<i>Крук, Н. Н., Кленицкий, Д. В., Маес, В.</i> Взаимосвязь молекулярной структуры и основности алкилированных производных свободного основания коррола.....	217
<i>Аджиб, Ю. Х., Крук, Н. Н., Климович, П. Г., Минченя, А. А.</i> Термохромизм растворов свободных оснований 5,10,15-замещенных корролов в этаноле.....	220
<i>Поплавский, В. В.</i> Исследование микроструктуры и состава слоев, формируемых в процессе ионно-ассистируемого осаждения металлов на поверхности графита.....	223
<i>Мисевич, А. В., Лаппо, А. Н., Долгий, В. К.</i> Изучение фотопроводимости пленок фталоцианина свинца методом циклической термодесорбции .....	226
<i>Мисевич, А. В., Лаппо, А. Н.</i> Численное моделирование кулоновского расщепления энергетической зоны в материалах с прыжковой проводимостью .....	229
<i>Лаппо, А. Н., Мисевич, А. В., Почтенный, А. Е.</i> Экспериментальное определение микроскопических параметров электропереноса и фотоэлектрические свойства в тонкопленочных компонентах органических гетероструктур.....	232

<i>Бобровиц, О. Г.</i> Дефектообразование в арсениде галлия при имплантации ионов алюминия .....	235
<i>Тульев, В. В.</i> Влияние ионно-ассистированного осаждения на содержание водорода в структурах Me/Si.....	238
<i>Мадьяров, В. Р.</i> Определение скорости поверхностной рекомбинации в полупроводниках с помощью СВЧ-зондирования.....	241
<i>Чаевский, В. В., Романова, А. М., Кулешов, А. К., Barcik Štefan</i> Исследование износа ножей после КИБ обработки и мощности резания торцевой фрезы.....	243
<i>Наркевич, И. И., Фарафонтowa, Е. В.</i> Применение двухуровневого статистического метода для расчета структурных и термодинамических характеристик кристаллических наночастиц при температурах ниже тройной точки .....	246
<i>Наркевич, И. И., Цях, А., Пацаган, О. В.</i> Статистическое описание предсказанного Бразовским перехода термодинамической системы из однородного состояния в неоднородное .....	249
<i>Бектурсынова Д.П.</i> Реализация метода половинного деления в Matlab для решения нелинейного уравнения.....	252
<i>Фугаров Д.Д., Полуян А.Ю., Пурчина О.А.</i> Бионические и иммунные алгоритмы для решения нечетко сформулированных задач транспортной маршрутизации.....	255
<i>Nasirova Sh. N., Amonov D., Makhmudova M. A.</i> Professional studies based on programs the importance of preparation for action.....	258
<i>Nasirova Sh. N., Hojjeva D., Mavlonov A., Gadoev H.</i> The importance of the only information-educational environment in efficiency education.....	261
<i>Nasirova Sh. N., Nazarova S., Ruzieva G., Sherova G.</i> The importance of electronic education resources in the effectiveness of the lesson.....	264
<i>Ткаченко К.С.</i> Корректировка параметров узлов обработки данных инфраструктур промышленных предприятий при изменениях входного трафика.....	267
<i>Саидов Ч.С., Халияров Ж.Х., Муминов Б.С.</i> Расчет тензора кристаллического ГЭП для узлов решеток $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ .....	270
<i>Косимов А.С., Холмуминов А.А.</i> Оптические анизотропии пленок Na-карбоксиметилцеллюлозы различной степени растворения .....	271
<i>Тураев Э.Ю., Ниёзова О.А.</i> Определение локализации дырок в решетках высокотемпературных сверхпроводников.....	273
<i>Тураев Э.Ю., Нарбаев А.Б.</i> Применение Мессбауэровской спектроскопии при изучении оксидов меди .....	275
<i>Недопекин Ф.В., Садомова А.В.</i> Метод баллистического термического анализа (БТА) для изучения процессов плавления и кристаллизации .....	277
<i>Абдуллаев А., Жураев Ш.</i> Применение асимптотических обозначений для оценки работы алгоритма .....	278
<i>Лебедев Е. В., Кабанов Д. М., Микулич Р. Ю., Яковлев Ю. П., Куницына Е. В.,</i> Излучения дисковых лазеров на основе GAINASSB/ALGAASSB при температурах 2,7–300 К.....	282

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКРЫТОГО БЛОКЧЕЙНА И ПРОТОКОЛА PEER TO PEER ДЛЯ ЗАЩИЩЕННОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ**

Блокчейн — это распределённый реестр, который записывает данные о каждой транзакции в неизменяемой цепочке. Обычно блокчейн рассматривается как единая технология, хотя существуют два основных его вида: публичный и частный (приватный).

Публичный блокчейн — это открытая сеть. Любой человек может загрузить его протокол, прочитать, написать к нему дополнение и принять участие работе сети. Публичный блокчейн распределён и децентрализован. Транзакции записываются в виде блоков и связаны друг с другом так, что образуют цепочку. У каждого нового блока есть временная метка, и он проверяется узловыми компьютерами до того, как будет записан в блокчейн.

Приватные блокчейны — это блокчейны, в которых создание блоков централизовано и все права на проведение таких операций принадлежат одной организации. У участников сети должно быть разрешение на чтение, запись или проверку блокчейна. Существуют различные уровни доступа к частному блокчейну, и информация должна быть зашифрована в целях защиты конфиденциальности.

Приватные блокчейны имеют определенные преимущества. Во-первых, это низкая стоимость транзакций, поскольку проверка их валидности проводится доверенными и высокопроизводительными узлами вместо десятков тысяч пользовательских устройств, как в случае с общедоступными сетями. Во-вторых, блокчейн можно настроить таким образом, что показатель TPS (TPS — transactions per second) будет значительно большим, чем у общедоступных сетей. Единственным ограничением в этом случае остается пропускная способность самого слабого узла в сети. Еще одним преимуществом приватных блокчейнов может являться больший контроль над системой со стороны компании. Суть в том, что приватный блокчейн позволяет, например, быстро обновлять функциональность. Поэтому он привлекателен для учреждений, работающих с реестрами и системами учета, поскольку формирует контролируемую и прогнозируемую среду, по сравнению с общедоступными блокчейнами.

Однако вышесказанное означает, что у частных блокчейнов от-



существует важная особенность — децентрализация. Некоторые критики считают, что частные блокчейны — это вовсе не блокчейны, а централизованные базы данных, которые просто используют распределённый реестр.

Существует два типа P2P-сети: децентрализованная, основанная на равноправии участников (пиров), т. е. выполняет функции и клиента, и сервера; и частично децентрализованная (гибридная), в которой существует сервер, используемый для передачи, чтения данных между пользователями.

Одноранговые, децентрализованные или пиринговые (от англ. peer-to-peer, P2P — один на один, с глазу на глаз) сети — это компьютерные сети, основанные на равноправии участников. В таких сетях отсутствуют выделенные серверы, а каждый узел (peer) является как клиентом, так и сервером. В отличие от архитектуры клиент-сервер, такая организация позволяет сохранять работоспособность сети при любом количестве и любом сочетании доступных узлов.

Помимо чистых P2P-сетей, существуют так «гибридные сети», в которых существуют сервера, используемые для координации работы, поиска или предоставления информации о существующих машинах сети и их статусе (on-line, off-line и т. д.). Гибридные сети сочетают скорость централизованных сетей и надёжность децентрализованных благодаря гибридным схемам с независимыми индексационными серверами, синхронизирующими информацию между собой. При выходе из строя одного или нескольких серверов, сеть продолжает функционировать.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Роджер Ваттенхофер. Наука блокчейна/ Роджер Ваттенхофер. – Цюрих: Швейцарская высшая техническая школа, 2016. – 123 с.
2. Электронный ресурс : <https://habr.com/ru/post/239225/> , Дата доступа: 03.02.2020.

Ł. Filipek, student (Lublin Catholic University, Poland),  
P. P. Urbanovich, prof. (BSTU, Minsk, Belarus)

## **INTERNET OF THINGS: CONCEPTS, RISKS, SECURITY**

Internet of Things (IoT) is a concept of a connected network of things or objects. In the context of the IoT, the thing is the object of the physical world (physical thing) or the world of information (virtual thing), which can be identified and integrated in communication networks. This integration is implemented by means of communication devices. The integration of the thing and the communication device defines IoT [1].

The main goal of IoT is to create an intelligent environment by using a set of intelligent devices. They are supported not only by sensors or electronic identifiers enabling monitoring and ongoing assessment of the state of the environment, but they can also be based on a number of other information such as the location of the given object, weather forecast, information on the current traffic volume or any social or private business information. Thanks to this, the IoT creates the possibility of partial integration between the physical world and the computer system, offering an increase in the level of performance, security and comfort. Thanks to this, the IoT creates the possibility of partial integration between the physical world and the computer system, offering an increase in the level of performance, security and comfort. The amount of data provided by IoT devices as well as their scope and specification can be any depending on the requirements.

A characteristic feature of IoT are resource constraints. They mainly result from the fact that security functions such as cryptographic mechanisms cannot use too much computing resources of the device, its memory and, as a consequence, energy. Most of IoT devices are built-in and small devices. They have various resource limits - they don't have long battery backup; they don't have a lot of memory and they don't have a lot of computing power. Therefore, in addition to conventional cryptography in IoT, there is a need to use light cryptography. There are many ways to thwart cryptography if security features are not properly implemented. Access control systems in IoT must be able to dynamically revoke credentials and cross-verify with neighboring nodes [2, 3].

The challenge for IoT technology is to ensure an appropriate level of security. According to a Cisco report, the number of devices connected to the Internet will increase to 28.5 billion in 2022, compared with 18 billion in 2017. IoT devices are to contribute to such a large increase in the number of devices connected to the Internet. According to research conducted

by Hewlett-Packard on the commercialization of the Internet of Things, 80% of tested devices violate the privacy of personal data such as name, surname, home address or credit card credentials. 80% of them did not require passwords of adequate complexity or length. In addition, 70% of devices did not encrypt communications and 60% of them had user interface vulnerabilities. That is why IoT devices often become the first line of attack. Due to numerous vulnerabilities, they become the weakest point of the network. In turn, the security of the entire network is equal to the security level of its weakest element [4].

Due to the listed some conceptual features of the IoT, this environment is the object of not only well-known and other types of attacks. Here it is impossible not to take into account the law aspects of the problem [5].

A *botnet* is a collection of computers or any IoT devices controlled by malware. Network devices are infected by malicious software that is spread via computer networks. After infecting machines, they can be controlled remotely without the knowledge of their owners and can be used to attack any target. Any unsecured device with Internet access can be used by an intruder to create a botnet. Due to the increasing commercialization of the IoT, it is becoming the main target of cybercriminals. According to a Nokia report in 2018, 78% of infections in telecommunications networks are associated with IoT botnets, and IoT bots account for 16% of devices [6].

One of the most powerful identified IoT botnet is Mirai Botnet. It could perform *DDoS* attacks with a strength of 1.2 Tb / s using hundreds of thousands of end devices such as IP cameras, home routers, DVR players. The malware was infected after logging in to devices using a default or popular set of usernames and passwords. These attacks in October 2016 resulted in unavailability of websites such as GitHub, Twitter, Reddit, Netflix, Airbnb and many others. The Mirai Botnet code has been published so that more Mirai modifications such as IZ1H9, Ex0, Ares, LZRD and Miori are still appearing, which take into account newly created vulnerabilities.

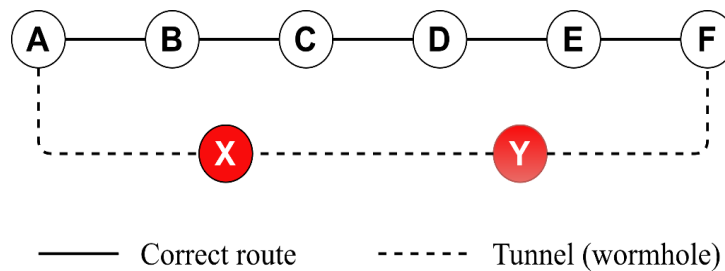
In case of the IoT the communication between devices is held mainly with wireless media. Attacks based on a routing disorder allow eavesdropping on transmissions, modifying information, destroying messages, and strengthening *DDoS* attacks.

Wormhole is a specialized *Man-in-the-Middle attack* in which the attacker connects two remote regions of the network with a private low-latency link.

IoT connects stationary objects and those that often change their surroundings. The connection itself is also heterogeneous - it can be wired or wireless, depending on the geographical location. One or more malicious

nodes may be used in this attack. Malicious nodes have the task of creating the tunnel between sender and recipient with fewer hops than a regular route. The attacker node intercepts packets from one point and then tunnels to the next, which further distributes them. This type of attack combined with other attacks can become a serious security breach. This tunnel is also difficult to detect, especially when it is systematically turned on and off.

This attack is very popular on Ad-Hoc networks. With many network routing protocols in Ad-Hoc networks, the wormhole would prevent the algorithms from finding routes longer than one or two hops. A wormhole attack also effectively disrupts location-based wireless systems (see fig. 1).



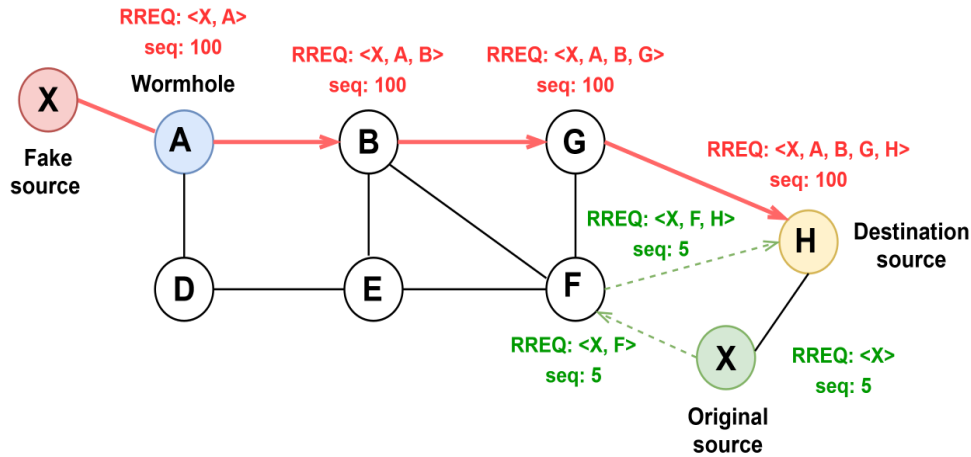
**Fig. 1 – Wormhole attack on the example of communication of source node A with destination node F**

In a *Selective-Forwarding Attack*, an infected node can freely filter messages by selectively forwarding or destroying them. A selective forwarding attack can also be used to perform DoS attacks by selectively forwarding packets to the victim node. One of the solutions to protect against this type of attacks is to create separate paths between the source and destination nodes.

*Sinkhole attack.* Sensors left unattended in the network for a long time are particularly vulnerable to sinkhole attacks. An infected node receives network traffic from all surrounding nodes by announcing erroneous routing information. The received data is modified or more often, mainly not transferred. The task of the infected node is to participate in as many routes as possible. So, unlike a blackhole attack, the node does not wait for communication intermediation in accordance with current routing tables, but wants to force communication with the largest number of neighboring nodes. Atak ten jest wykorzystywany w sieciach Ad-hoc opartych na protokołach AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing), DSR (Dynamic Source Routing).

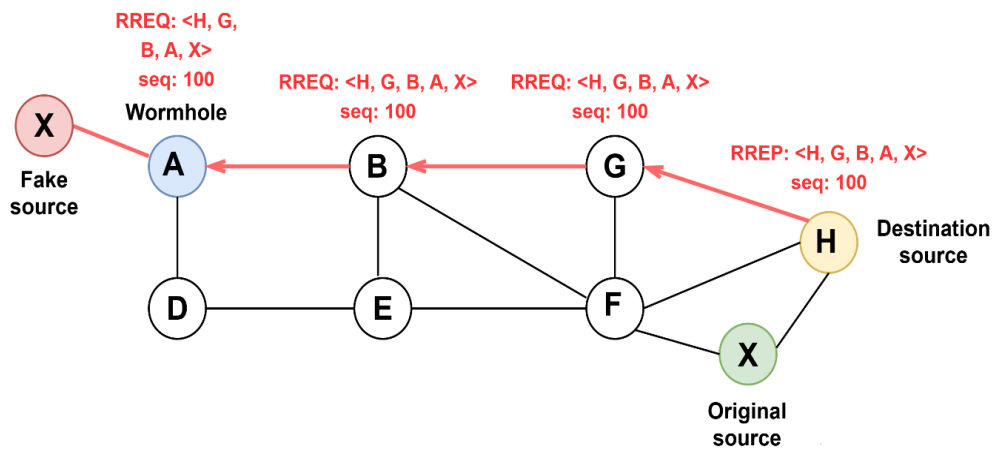
Initially, the attacking node observes the source node sequence number. It then maximizes the sequence number and creates the requested RREQ (Request Route) broadcast and adds a fake entry to its cache that says the source node is in the next hop from itself. The routing request is

emitted to subsequent nodes, which add successive hops to the table until they reach their destination. Figure 2 for the readability of the record does not take into account the broadcast nature of the RREQ package.



**Fig. 2 – Creating and emission of a fake RREQ**

Then unicast RREP (Route Reply) packets are sent back to the destination node with the least hop counts. A request with a higher sequence number than the previous route means that the neighboring nodes treat the given new route as the most recent one and add it to their route tables.



**Fig. 3 – Emission of false RREP**

It is clear that the types of attacks that we briefly analyzed in the Internet of things environment do not exhaust the full list. There are other security risks to the systems considered [7, 8].

The IoT environment requires secure communication with and between billions of devices. Without ensuring an adequate level of security, the IoT instead of a network of interconnected devices can become a network of interconnected threats. By using a significant scale of these devices in network traffic, their increasing role in communication and an upward trend in the market, these devices without providing an adequate level of

protection will become the first line of attacks in the space of computer networks. Due to limited devices resources, the correct integration of all security functions is extremely important in the context of the IoT security.

## REFERENCIES

1. Overview of the Internet of things. International Telecommunication Union. – [Electronic resource]: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I>.
2. Урбанович, П. П. Защита информации методами криптографии, стеганографии и обфускации : учеб.-метод. пособие для студ. – Минск: БГТУ, 2016. – 220 с.
3. Ochrona informacji w sieciach komputerowych / pod red. prof. P. Urbanowicza. – Lublin: KUL, 2004. – 150 s.
4. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022, Cisco. – [Electronic resource]: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>.
5. Paweł Urbanowicz, Marek Smarzewski. Bezpieczeństwo w cyberprzestrzeni a prawo karne/ Księga pamiątkowa ku czci Księdza Profesora Andrzeja Szostka MIC. – Lublin: Wydawnictwo KUL, 2016. – S. 489-496.
6. Nokia Threat Intelligence Report 2019, Nokia. – [Electronic resource]: <https://pages.nokia.com/T003B6-Threat-Intelligence-Report-2019.html>.
7. O. El Mouaatamid, M. Lahmer, M. Belkasm. Internet of Things Security: Layered classification of attacks and possible Countermeasures/ Electronic Journal of Information Technology, 2016, no. 9.
8. Урбанович, П. П. Защита информации: конспект-лекция, ч.1 = Information Protection, Part 1: INTRODUCTION TO THE SUBJECT AREA / П. П. Урбанович. – Минск: БГТУ, 2019. – 52 с. – [Electronic resource]: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/29335>.

УДК 003.26+004.57

К.А. Ахраменок, маг. ;  
Н.А. Жияк, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## ПОСТРОЕНИЕ СКОРИНГОВОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ

Скоринг (от англ. Scoring — подсчет очков в игре) — это модель классификации клиентской базы на различные группы, если неизвестна характеристика, которая разделяет эти группы, но известны другие факторы, связанные с интересующей нас характеристикой [1].

Логистическая регрессия — статистическая модель для по-

строения скоринговых моделей при бинарной классификации. Математическая модель логистической регрессии выражает зависимость логарифма шанса (логита) от линейной комбинации независимых переменных [2].

Цель работы: описать алгоритм построения скоринговой модели с использованием логистической регрессии.

Математическая модель логистической регрессии выглядит следующим образом:

$$\ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = b_0 + b_1 x_i^{(1)} + b_2 x_i^{(2)} + \dots + b_k x_i^{(k)} + \varepsilon_i,$$

где  $p_i$  — вероятность наступления искомого события на основе известных параметров  $i$ -го исследуемого объекта;  $x_i^{(j)}$  — значение  $j$ -ой независимой переменной;  $b_0$  — независимая константа модели,  $b_j$  — параметры модели;  $\varepsilon_i$  — компонент случайной ошибки [3].

Для построения скоринговой модели с использованием логистической регрессии требуется выполнить следующие действия:

1. подготовить набор данных для построения модели;
2. преобразовать количественные и категориальные переменные с использованием WoE;
3. отсеять не значимые независимые переменные используя IV;
4. построить логистическую регрессию используя подготовленные данные.

Для преобразования количественных и категориальных данных используется метод весомости признака (каждый признак будет замещаться его весом) [2]. Метод весомости признака:

$$WoE = \left[ \ln\left(\frac{RelativeFrequencyOfGoods}{RelativeFrequencyOfBads}\right) \right],$$

где  $RelativeFrequencyOfGoods$  — количество «положительных» исходов для выбранной группы;  $RelativeFrequencyOfBads$  — количество «отрицательных» исходов для выбранной группы.

Для вычисления WoE количественных переменных следует выполнить следующие шаги:

1. разбить переменные на 10 групп (или меньше);
2. вычислить количество «положительных» и «отрицательных» исходов для каждой группы;
3. вычислить процент «положительных» и «отрицательных» исходов для каждой группы;
4. вычислить WoE.

Для категориальных переменных, не требуется разбивать данные на группы, можно сразу перейти к шагу 2.

IV(information value) — мера определения значимости переменных и измерения разницы в распределении «отрицательных» и «положительных» исходов:

$$IV = \sum (nonEvents\% - events\%) * WOE$$

Значения данного коэффициента трактуют следующим образом:

- менее 0,02 — статистически незначимая переменная;
- 0,02 - 0,1 — статистически малозначимая переменная;
- 0,1 - 0,3 — статистически значимая переменная;
- 0,3 и более — статистически сильная переменная.

На основе полученных значений IV следует удалить из выборки незначимые переменные [3].

После выполнения всех вышеперечисленных шагов, мы получим подготовленный набор данных.

Для построения логистической регрессии можно воспользоваться языком Python и библиотекой `sklearn.linear_model`. Потребуется разбить набор данных на обучающий и тестовый, обучить модель и проверить ее на тестовых данных [2]. В случае получения удовлетворительных результатов, остается извлечь коэффициенты регрессии и встроить их в существующую систему или использовать построенную регрессию для дальнейших предсказаний.

Актуальность работы заключается в необходимости исследования новых методов построения скоринговых моделей.

Научная новизна заключается в том, что в текущих реалиях огромное количество банковских скоринговых моделей строится вручную и имеет довольно слабую предсказательную способность.

В результате работы был описан способ построения скоринговой модели с использованием логистической регрессии, а также были описаны способы обработки данных и выявления их значимости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. The credit scoring toolkit: Theory and Practice for retail Credit Risk Management and Decision Automation/ Anderson R. [et al] // England: Oxford University Press. – 2007. – P. 8–13, 16–17.
2. Practical Guide to Logistic Regression / Josef M. Hibe [et al] // Chapman and Hall/CRC, USA. – 2015. – P. 30–35.
3. Applied logistic regression / David W. Hosmer // Wiley-Interscience Publication , USA. – 2000. – P. 302–305.



## **РЕАЛИЗАЦИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ШИФРОВАНИЯ**

Основой создания метода шифрования стала легендарная машина Enigma. Ее алгоритм в свое время был уникальным и для взлома документа требовалось немалое количество времени. Однако этот алгоритм можно усовершенствовать и создать более криптостойкий алгоритм шифрования.

При реализации нового алгоритма возникла проблема передачи настроек для шифрования и дешифрования данных. В исходном алгоритме Enigma, настройки были прописаны заранее и в передаче сообщения участвовал только зашифрованный текст.

В разработанном алгоритме был сделан набор настроек на каждый день в году, что позволило избавиться от необходимости в передаче настроек для дешифрования. Получатель и отправитель имеют одинаковый набор настроек, что дает им возможность безошибочно зашифровывать и расшифровывать сообщения.

Особенность алгоритма заключается также в том, что для расшифровки данных не требуется передача открытого ключа. Настройки можно задавать свои, что тоже способствует криптостойкости алгоритма. Для реализации алгоритма шифрования был использован язык программирования C#. Класс TheSecretSettings предназначен для настройки использования метода шифрования и дешифрования на каждый день в году, то есть всего триста шестьдесят шесть настроек.

Основной класс, TheSecret, имеет десять «Роторов», в которых случайным образом записаны буквы латинского и русского алфавита, большого и маленького регистра, цифры. Суть алгоритма заключается в том, что выбирается метод из класса TheSecretSettings, а именно, три «Ротора» из десяти. Сообщение, попавшее в функцию шифрования, посимвольно подвергается кодировке.

Далее по разработанной схеме выбираются символы из «Роторов» и окончательный вариант и будет являться закодированным символом для символа из сообщения, которое необходимо зашифровать.

Дешифрование происходит в обратном порядке.

Алгоритм полезен в любой сфере, например, для конфиденциальности мессенджеров, для аутентификации, для обычного хранения данных в зашифрованном виде, для использования внутри компании, для обеспечения конфиденциальности в случае несанкционированного доступа.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЕ ВЕСТИ УЧЁТ ТОВАРОВ НА СКЛАДАХ**

В настоящее время для сканирования товара работниками складов используется специальное устройство. Однако учет товаров на складах можно осуществлять и на смартфонах. В данной работе приводится краткое описание разработанного программного обеспечения для мобильных устройств.

Программное приложение разработано на базе стандартного функционала модуля Warehouse management ERP-системы Microsoft Dynamics 365 F&O. В настоящее время организации, использующие функционал модуля Warehouse management, нуждаются в оптимизации уже существующих функциональностей, а также, в реализации новых возможностях данного модуля.

Суть модуля Warehouse management достаточно проста: это модуль, который работает с товарами, находящимися на складе, он отвечает за взятие товара со склада, за поставки нового товара, а также за перемещение товаров с одного склада на другой. У пользователя приложения есть список складов, с которыми он может работать. Однако одновременно он может работать только в рамках одного склада. Для того чтобы перейти в другой склад, ему необходимо воспользоваться функцией Change warehouse, которая позволяет пользователю поменять склад для работы.

Разработанный функционал оптимизирует работу со складом таким образом, что для того, чтобы взять товар, пользователю не нужно менять склад в приложении, а достаточно выбрать склад, с которого он бы хотел взять товар. Приложение позволяет вести учет перемещенного товара в пределах всех складов, в которых работает пользователь.

Создание нового функционала приложения обеспечивает выполнение следующих целей: делает проще работу сотрудников, работающих с несколькими складами одновременно; уменьшает количество итераций в работе системы, а значит ускоряет работу сотрудников складов; обеспечивает возможность использования данных по умолчанию, что приводит к минимальному количеству вводимых данных. Поскольку экран на устройстве маленький, это обстоятельство является важным.

О. А. Шавров, доц., канд. техн. наук;  
Ali Ahmad Farhat, асп.; Mahmoud Jebaee, асп.  
(БГТУ, г. Минск)

## **О СТАРТАП-ПРОЕКТАХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В НЕДВИЖИМОСТИ**

История изменения бизнес-процессов в индустрии недвижимости последних 30-ти лет в литературе связывается с этапом земельной реформы (до 1999-х), с реформой систем земельного администрирования (до 2010-х), с реформой государственного управления земельными ресурсами (англ. *Land Governance*). Похоже, что этот этап завершается к началу 2020-х. Во всех трех этапах основным драйвером изменений были государства. Встает вопрос, а что будет дальше?

В докладе излагается гипотеза об изменении бизнес-процессов в недвижимости в Беларуси и частично в Ливане в предстоящем десятилетии.

Первое утверждение в гипотезе – драйвером развития будут цифровые технологии FinTech, PropTech, ConTech, RegTech и SupTech. Второе – драйвером будет не государство, а бизнес. Третье – решения будут носить, если не глобальный, то национальный, но никак не региональный характер. Четвертое – бизнес станет инициатором стартап-проектов, состав которых сегодня легко предсказать.

В Беларуси уже есть признаки в подтверждении этой гипотезы. Белорусским Центром BEROС и акселератором FTh «Белгазпромбанка» разработана карта FinTech Беларуси. БелВЭБ стал первым банком в Беларуси, который работает с криптовалютой. Появилась инвестиционная он-криптоплатформа FINSTORE.by, оператор компания «ДФС», резидент ПВТ. Появился Союз компаний по реинжинирингу риэлтерской деятельности, который создает сообщество PropTechBelarus. Появились первые платформы виртуальной и дополненной реальности 3-D VR (Великий камень, Авангард).

В докладе утверждается, что технологическое развитие в недвижимости будет проходить путем создания Национальных B2B ИТ-платформ трех групп: 1) «FinTech-недвижимость», 2) «Умные города и здания», 3) «Экономика отдельного потребления». Приводится список 12-ти наиболее вероятных стартап-проектов, ниши которых выявлены разработанной картой PropTechBelarus. Указаны зарубежные аналоги-платформы классов *Property Management*, *Facility Management*, *Portfolio Management*, *IoT Home* и др.

## СТОЙКОСТЬ ТЕКСТОВОГО СТЕГАНОКОНТЕЙНЕРА К ИСКАЖЕНИЯМ

Цифровая стеганография – направление, основанное на реализации методов сокрытия или внедрении тайной информации в цифровые объекты, называемые контейнерами [1]. Контейнерами могут выступать, например, электронные документы различного типа. При этом и использование стеганографических методов может преследовать различные цели [2-5].

Идея представленного исследования состоит в том, чтобы оценить стеганостойкость метода текстовой стеганографии, основанного на модификации цветовых параметров символов текста [1, 4].

Под стеганоконтейнером будем понимать текстовый документ (несекретные данные) со скрытой в нем тайной информацией.

С помощью авторского программного средства Sword [6] (рисунок 1) в электронный текстовый документ осаждалась (секретная) информация.

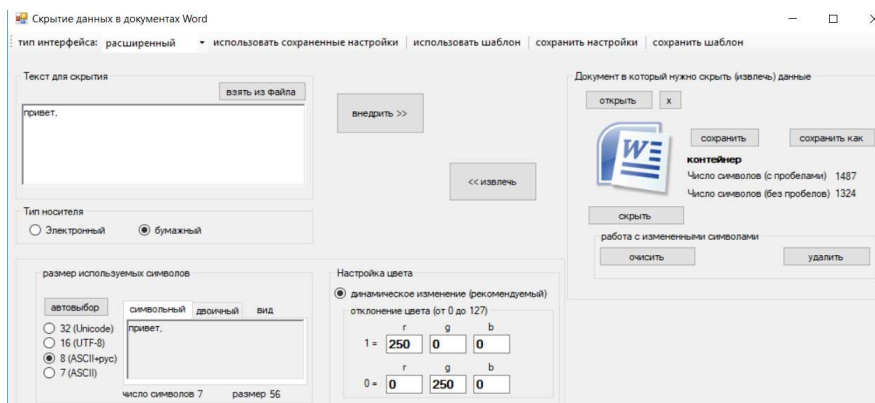


Рисунок 1 – Диалоговое окно программного средства Sword

В качестве контейнера выступил документ, созданный в текстовом процессоре MS Word (общее число символов – 1324). Секретное сообщение – «привет.» (число символов – 7, размер – 56 бит). Встраивание производилось за счет изменения значений трех основных цветовых каналов (красного, зеленого и синего) на определенное значение.

Необходимо отметить, почему изменялось значение именно данных трех цветов. Информация, выводимая на экран монитора, представлена в цветовой модели RGB (red – красный, green – зеленый, blue – си-

ний). Изменение исходных значений цвета символов в документе обусловлено значением ключа. В данном случае ключом выступает последовательность, представленная на рисунок 2.

	r	g	b
1 =	250	0	0
0 =	0	250	0

Рисунок 2 – Значения ключа

В результате осаждения контейнер принял вид, фрагментарно показанный на рисунок 3. Зеленым и красным цветами отмечены модифицированные символы. В них содержится осажденная информация, представленная в двоичном виде).

Начало 21 века характеризуется глобальными изменениями в области информационных или информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Эти изменения обусловили трансформации всех сторон жизнедеятельности отдельных людей, в частности, и государств, вообще. Как подчеркивается в Концепции национальной безопасности Республики Беларусь [1], «информационная сфера превращается в системообразующий фактор жизни людей, обществ и государств». Информацию сейчас рассматривают в качестве важнейшей, одной из самых дорогих сущностей мира. А информационные системы и процессы стали определяющим фактором реализации инновационного подхода, повышения эффективности

Рисунок 3 – Модифицированный контейнер

Для оценки стеганостойкости описываемого метода стеганоконтейнер был распечатан на цветном МФУ Canon G3400. Впоследствии напечатанный документ был отсканирован с использованием того же устройства (качество как печати, так и сканирования – высокое). Для проведения анализа необходимо конвертировать полученный PDF-файл в документ Word, а также распознать его, так как программное средство Sword работает только с документами, созданными с помощью текстового процессора MS Word.

Для чистоты эксперимента в ходе исследования для конвертации и распознавания текста было использовано несколько онлайн сервисов: Onlineocr, Convertio, Convertonlinefree, Img2txt, Pdfcandy, Pdf2go. Опытным путем было установлено, что почти все конверторы недостаточно успешно распознают текст. Только Pdf2go наиболее полно и точно распознал текст документа. Кроме того, было установлено, что при такой многоступенчатой комбинации (встраивание – печать – сканирование – конвертация – распознавание) цвет символов не сохраня-

ется. Таким образом, было установлено, что метод текстовой стеганографии, основанный на модификации цветовых параметров, не устойчив к такого рода искажениям. Однако, необходимо отметить, что данный метод имеет достаточно высокую эффективность для осаждения информации при условии, что стеганоконтэйнер будет храниться/передаваться в электронном виде.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Урбанович, П. П. Защита информации методами криптографии, стеганографии и обфускации: учеб.-метод. Пособие/ П.П. Урбанович. – Минск: БГТУ, 2016. – 220 с.
2. Shutko, N. A method of syntactic text steganography based on modification of the document-container aprosh / Nadzeya Shutko, Pavel Urbanovich, Pawel Zukowski // Przegląd elektrotechniczny. – 2018. – R. 94, NR 6.– P. 82–85.
3. Urbanovich, P. Theoretical Model of a Multi-Key Steganography System / P. Urbanovich, N. Shutko // Recent Developments in Mathematics and Informatics. Contemporary Mathematics and Computer Science. Vol. 2, Chapter 11. – Lublin: KUL, 2016. – P. 181–202.
4. Шутько, Н. П. Защита авторских прав на текстовые документы на основе стеганографической модификации цвета символов текста / Н. П. Шутько, П. П. Урбанович // Информационные технологии: материалы 83-й научно-техн. конф. проф.-препод. состава, науч. Сотр. и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 4–15 февраля 2019 г.– Минск:: БГТУ, 2019. – С. 41–43.
5. Блинова, Е.А. Стеганографический метод на основе встраивания дополнительных значений координат в изображения формата SVG/ Е. А. Блинова, П.П. Урбанович// Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. – Минск: БГТУ, 2018. – № 1 (206). – С. 104–109.
6. Свидетельство о регистрации компьютерной программы Sword v.1.0 / В. А. Пласковицкий, Н. П. Шутько // Реестр Национального Центра интеллектуальной собственности РБ. – 2011. – Запись № 383 от 04.01.2012.

## **АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПОИСКА МАРШРУТА ПУТЕШЕСТВИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

В условиях изменений в экономике и стремительного развития технологий появляются новые способы подготовки и организации путешествий. Самостоятельный туризм представляет собой все более массовое явление. Неотъемлемой частью самостоятельно туризма является планирование путешествий. В условиях ограниченного количества ресурсов (времени путешествия) и большого количества мест для посещения, целесообразным является разработка алгоритма для поиска маршрута путешествия на основе предпочтений пользователя.

Основными ограничениями постановки задачи построения оптимального маршрута путешествия являются ограничения, связанные с материальными или не материальными ресурсами, такими как:

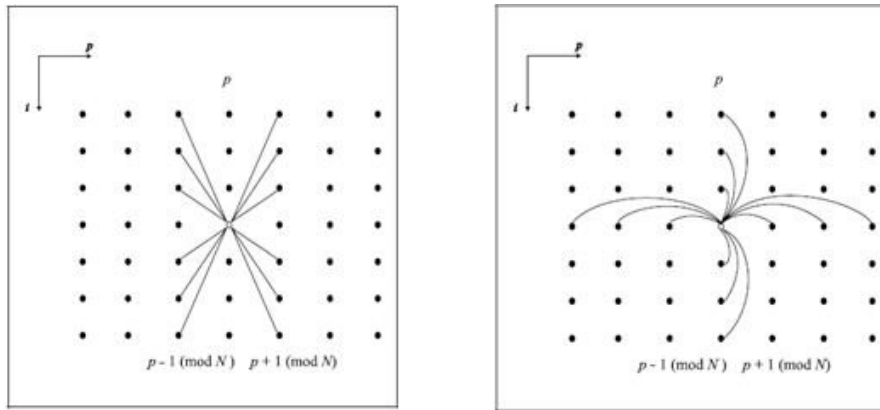
- денежные ресурсы (ограниченный бюджет);
- временные ресурсы (ограниченное время путешествия и работы мероприятий);
- предпочтения пользователя по предполагаемым местам посещения;
- предпочтения пользователя по виду перемещения.

Таким образом, в алгоритме поиска маршрута путешествия можно выделить несколько шагов:

- определение предпочтений пользователя;
- фильтрация всех предпочтений пользователя с учетом временных и денежных ресурсов;
- нахождение оптимального маршрута с учетом ограничений, составление плана и расписания.

Для реализации последнего шага используется нейронная сеть, состоящая из 100 нейронов. При присвоении весов должна существовать гарантия, что нейросеть предоставляет решение, которое соответствует корректному туру. Становится ясно, почему присвоение весов является наиболее значительным для достижения хорошего решения при использовании машины Больцмана и сети Хопфилда. Хопфилд и Танк предложили один путь присвоения весов для машин Больцмана. Основной идеей является наложение штрафов на некорректные туры и в то же время минимизация длины тура. Подход Aarts дает возможность формально установить присвоения, связав с постав-

ленной задачей, тогда как многие другие подходы для присвоения весов являются эвристическими. Конечно, необязательно подразумевается, что результирующий алгоритм работает хорошо, поэтому Aarts предлагает несколько модификаций, предназначенные для улучшения производительности больших задач.



**Рисунок 1 – Соединения, сделанные к каждому узлу сети**

Они разделены на два типа. Соединения расстояний, для которых веса выбраны таким образом, что, если сеть находится в состоянии, которое соответствует туру, эти веса будут отражать стоимость энергии соединения  $(p-1)$  места тура с  $p$  местом, а  $p$  – место с местом  $(p+1)$ .

На рисунке изображены соединения расстояний. У каждого узла  $(i, p)$  есть запрещающие связи к двум смежным колонкам, чьи веса отражают стоимость соединения трёх мест.

Рисунок отображает исключаяющие соединения. У каждого узла  $(i, p)$  есть запрещающие связи ко всем элементам в том же ряду и колонке. Исключаяющие соединения запрещаюот двум элементам находиться в одном и том же ряду или колонке в одно и то же время. Исключаяющие соединения позволяет сети установиться в состояние соответствующем состоянию тура.

Так как все соединения до настоящего времени запрещающие, мы должны предоставить сети некоторый стимул для включения элементов, при помощи манипулирования порогами.

Тогда функционирование сети выглядит следующим образом:

- рассчитываются веса, с учетом поставленной задачи, по алгоритму описанному выше;
- подается на вход сигнал;
- производится активация нейронов по алгоритму обучения Больцмана, за исключением того, что веса остаются всегда одинаковыми;



– повторяются действия 2 и 3 до тех пор, пока энергия не упадет в глобальный минимум (т.е. в течении  $n$  вычислений не изменяет свое состояние).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Pete Warden. Building Mobile Applications with TensorFlow. // USA: O'Reilly Media – 2017 – P. 5–63

2. Do Dinh Duc. Building Real Time Object Detection iOS Application Using Machine Learning // Metropolia University of Applied Sciences // USA: Metropolia – 2018 – P. 4–25

УДК 004.422:81

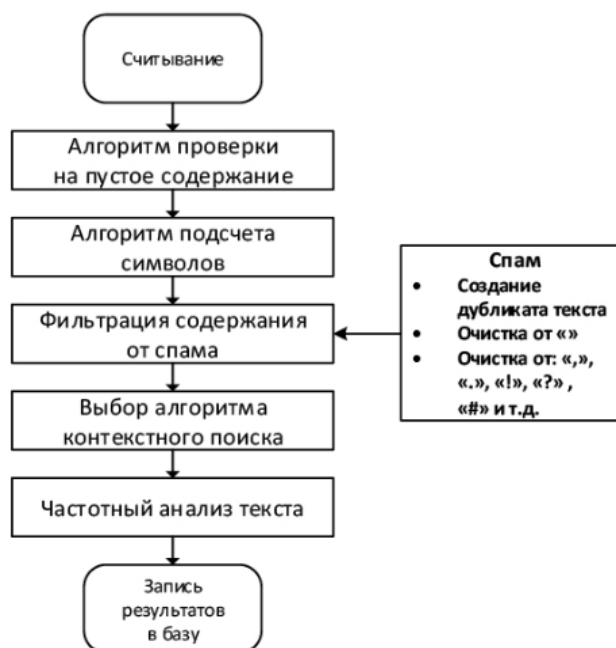
А.В. Тарасенко, маг.; Н.А. Жиляк, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

#### **СЕРВИС ДЛЯ СЕМАНТИЧЕСКОГО И СИНТАКСИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЛОВ**

Переход общества в цифровую эру обусловил увеличение спроса на потребление информации в электронном виде. Как результат на данный момент необходимы быстрые и эффективные способы обработки большого количества информации и её структурирование для дальнейшего подбора для конечного пользователя. Всё это привело к увеличению спроса на различные алгоритмы анализа текстовой информации. Идет переход от ручного анализа текста к машинному. В связи с этим целесообразно создать эффективный алгоритм для анализа текста и выделения ключевых слов, для последующего применения данного алгоритма новостными порталами и агрегаторами.

Для решения поставленной задачи необходимо очистить входные данные [1] и выделить в нём ключевые слова т. к. с их помощью, на основе алгоритма TextRank и будет происходить анализ исходного текста.

Сначала машина находит в своем основном индексе все документы, в которых встречаются слова из запроса пользователя. Затем уже среди них выбираются те, где выше плотность ключевых слов (из запроса пользователя) в тексте документа, в его заголовке TITLE, в тегах акцентирования (H1 -H6, STRONG, EM) и т.п. Так же принимается в расчет текст ссылок (анкор), ведущих с других проектов на эти документы. В этом тексте тоже анализируется плотность ключевых слов из запроса пользователя. Называется эта штука ссылочным ранжированием.



**Рисунок 1 – Алгоритм анализа текста**

Ну, и в конце концов полученные результаты немного могут быть подкорректированы с учетом показателя Page Rank. В результате чего, будут расставлены по своим местам в поисковой выдаче документы с одинаковой релевантностью по данному запросу. Яндекс тоже использует свой ВИЦ (взвешенный индекс цитирования) для корректировки своей выдачи

Сервис созданный на основе данного алгоритма позволит быстро анализировать входной текст и на основе его выдавать схожие статьи. Данный сервис может быть использован новостными порталами и агрегаторами не только для подбора новостей, но и для контекстной рекламы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Web Rank/ Shaoping N. [et al] // USA: Google Ltd. – 2018. – P. 36–37.
2. Синтаксический разбор / Буркнцев В.А. // Министерство образования и науки Российской Федерации. Федеральное агентство по образованию Российской Федерации. Еленцкий Государственный университет им И.А.Бунина. – P. 10–15.

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ УНИВЕРСИТЕТА

В рамках управления учебным процессом учреждения высшего образования решается одна из наиболее важных задач – задача распределения нагрузки кафедры между профессорско-преподавательским составом оптимальным образом.

Для оптимального распределения учебной нагрузки кафедры необходимо иметь возможность моделировать различные ее варианты, изменяя исходные данные. Варьируя распределением планируемой нагрузки кафедры между профессорско-преподавательским составом кафедры по семестрам, необходимо спланировать оптимальным образом учебный процесс с тем расчетом, чтобы наибольший объем учебной нагрузки по приоритетным типам работ назначался наиболее компетентным преподавателям с учетом равномерной их загрузки в учебном году[1].

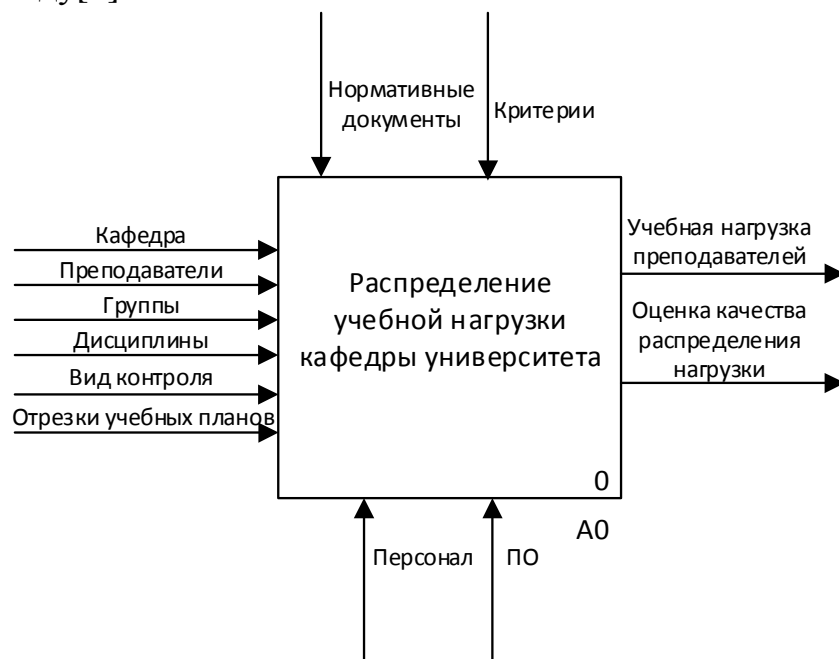


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма А0

На рисунке 1 приведен начальный уровень декомпозиции «Распределение учебной нагрузки кафедры университета» с потоками входящей и выходящей информации, механизмами выполнения указанного действия, и элементами контроля и управления, на основе которых оно выполняется.

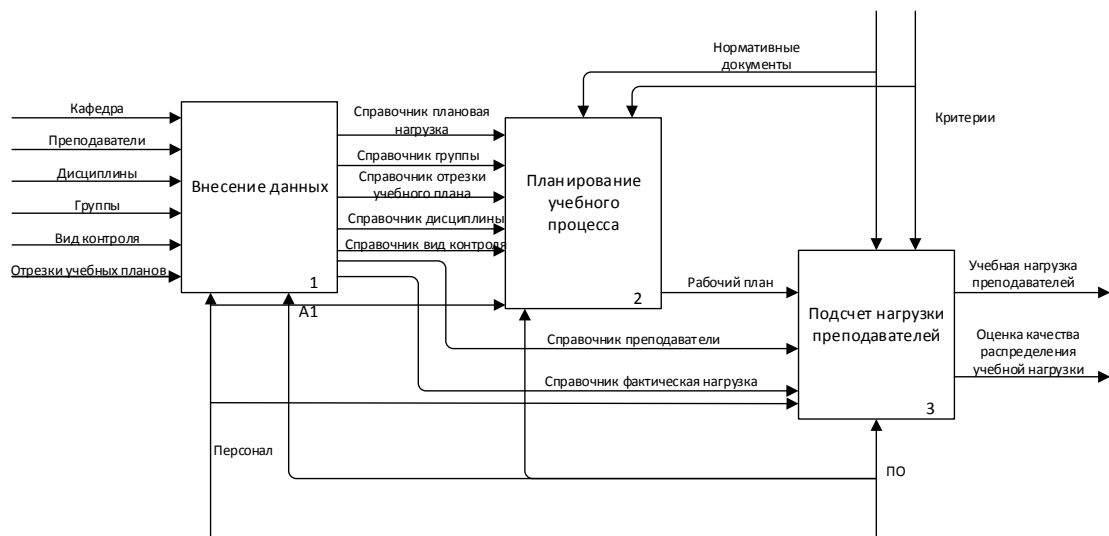


Рисунок 2 – Декомпозиция контекстной диаграммы A0

Преимуществами использования электронной таблицы является то, что она позволяет достаточно просто организовать выполнение расчетов, которые должны быть произведены при решении задачи распределения и учета выполнения учебной нагрузки. Кроме того, непосредственно в процессе решения задачи на этапе распределения учебной нагрузки можно сразу же наглядно отобразить в различных срезах ее структуру средствами встроенной деловой графики, что значительно упрощает восприятие полученных результатов. Исходными данными для решения задачи являются:

- учебная нагрузка кафедры по читаемым ей дисциплинам, рассчитанная учебным управлением;
- плановое штатное расписание кафедры;
- фактический штат преподавателей кафедры;
- предполагаемые совместители и почасовики, привлекаемые к проведению учебных занятий на кафедре.

Приведем основные положения математической модели распределения учебной нагрузки между преподавателями кафедры [2]. Пусть за кафедрой закреплено  $s$  дисциплин:  $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n$  – нагрузка по каждой дисциплине и  $n$  преподавателей:  $B_1, B_2, \dots,$

$$B_k, \dots, B_n \text{ – нагрузка по каждому преподавателю, } \sum_{i=1}^s A_i = \sum_{k=1}^n B_k .$$

Каждая дисциплина в свою очередь состоит из  $t$  видов учебных работ:  $C_1, C_2, \dots, C_k, \dots, C_t$ , нагрузка по каждому виду учебной работы,  $C_j$  принадлежит  $A_i$ . Для каждого  $t$ -го преподавателя задаются: уровень профессиональной подготовки, связанный с выполнением  $j$ -го вида учебной работы  $i$ -й дисциплины –  $w_{tji}$ ; предпочтения к дисциплинам, факультетам и направлениям –  $l_i$ ; преобладание

–  $f_{ij}$  (т. е. выполнял  $t$ -й преподаватель  $j$ -й вид учебной работы  $i$ -й дисциплины или нет); диапазон минимальной и максимальной нагрузки по  $j$ -му виду учебной работы для преподавателей всех должностей и по учебной нагрузке преподавателя для каждой должности. Требуется найти такое распределение, при котором разность между максимальной и минимальной учебной нагрузкой преподавателя будет минимальной при заданных предпочтениях и ограничениях. Формализованная задача распределения учебной нагрузки между преподавателями кафедры будет иметь следующий вид:

$$F = \max \left| B_{t_d, j}^{\max} - B_{t_d, j}^{\min} \right| \rightarrow \min, \quad (1)$$

где

$$B_{t_d} = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^k x_{jit_d} C_{ji} l_t w_{ji} f_{ji}, \quad t = \overline{1, n}, \quad f_{ji} \in \{0; 1\},$$

где  $s$  – количество дисциплин;  $n$  – количество преподавателей (фактический штат кафедры);  $A_i$  – нагрузка по  $i$ -й дисциплине  $i = \overline{1, s}$ ;  $x_{jit_d}$  – назначение  $j$ -го вида учебной работы  $i$ -й дисциплины  $t$ -му преподавателю  $d$ -й должности  $x_{jit_d} \in \{0; 1\}$ ;  $C_{ji}$  – нагрузка по  $j$ -му виду учебной работы  $i$ -й дисциплины. Эту задачу можно свести к задаче равномерного приближения функции[3].

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гусев В.В. Система моделей и методов рационального планирования и организации учебного плана в вузе / В.В. Гусев, Н.Я. Краснер. – Воронеж: ВГУ, 1984. – 152 с.
- 2 Тархов, С.В. Математическая модель распределения учебной нагрузки между преподавателями кафедры / С.В.Тархов, С.Н. Султанова Информационные технологии моделирования и управления. №5. Воронеж: Научная книга, 2005. С.676–681.
- 3 Лоран, П.Ж. Аппроксимация и оптимизация / П.Ж.Лоран [под ред. Г.Ш.Рубинштейна, Н.Н.Яненко].М.: Мир,1975. 496 с.

## **АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ФАЙЛАХ, ОСНОВАННЫХ НА XML-РАЗМЕТКЕ**

В настоящее время является актуальной задача передачи скрытых сообщений в открытых источниках или размещения скрытых меток в открытых данных для подтверждения авторства на эти данные. Методы, реализующие такое скрытие, называются стеганографическими. Основными направлениями применения стеганографических методов являются внесение различных стеганографических меток в каждую копию электронного документа (Digital Fingerprint), внесение одинаковых стеганографических меток во все копии документа (Watermaking) и скрытая передача и хранение данных.

Для скрытия информации или осаждения скрытых меток используются различные виды файлов-контейнеров. Для каждого типа файлов-контейнеров разработаны методы, комбинирующие стандартные синтаксические методы текстовой стеганографии и методы, основанные на специфических свойствах документа-контейнера.

Поскольку различные по назначению файлы, такие как электронные документы в формате DOCX, графические файлы в формате SVG, пространственные объекты в электронных картах, являются подмножеством файлов формата XML, то к ним могут быть применены одинаковые подходы осаждения скрытых данных, в особенности для осаждения небольших меток. Могут применяться как классические методы стеганографии, методы, характерные для файлов разметки, а также различные вариации метода LSB.

Основным недостатком при применении стеганографических методов для осаждения скрытой информации с использованием специфических методов, свойственных контейнеру, является проблема разрушения скрытого сообщения после изменения значений в контейнере. В связи с этим, предлагается использовать либо два стеганографических метода, использующих различные свойства контейнера, для взаимного контроля целостности, либо метод последовательного осаждения сообщения в контейнер с контролем последующего или предыдущего объекта контейнера, реализованной по принципу блокчейна (выстроенная по определённым правилам непрерывная последовательная цепочка блоков, содержащих информацию).

В литературе широко освещается возможность осаждения скры-

той информации в электронные документы, файлы электронных карт или в векторные изображения, причем основной интерес сосредоточен на осаждении цифровых водяных знаков для подтверждения авторства и целостности. Под целостностью контейнера будем понимать неизменность текста, атрибутов и пространственных областей.

При осаждении скрытых меток в файлы, основанные на XML-разметке, все стеганографические методы могут быть разделены на две основные группы, такие как изменение характеристик отдельных характеристик таких файлов и трансформация файла в целом. Достоинствами первого типа методов являются простая программная реализация и объем размещаемого водяного знака, а основным недостатком — низкая стойкость к атаке на конкретный метод. К методам трансформации объекта в целом относятся методы, использующие вейвлет-преобразование, ДПФ и дискретное косинусное преобразование. Такие методы обеспечивают высокую стойкость к атакам, основанным на пространственных преобразованиях, однако они подходят лишь для небольшой части файлов и сложно реализуются.

Оценка стеганографических методов при осаждении скрытых меток может производиться по следующим параметрам: емкость, точность, время вычисления и стойкость к изменениям. Под емкостью понимается максимальный размер меток, который может быть осажден в контейнере. Точность предполагает, что осаждение дополнительных меток не изменяет контейнер как минимум визуально. Таким образом, необходимо найти баланс между размером метки и видимым изменением контейнера. Время вычисления подразумевает сокращение времени вычисления, требуемого для осаждения и извлечения меток. Стойкость предполагает, что метод способен противостоять изменениям пространственных объектов, таким как замена текста, поворот, обрезка и упрощение.

Перечислим основные подходы к осаждению скрытых меток. Размещение *адаптивных* меток зависит от характеристик контейнера. *Множественные* метки предполагают наличие нескольких разноплановых меток. *Обратимые* метки дают возможность получить оригинальный контейнер после извлечения скрытого сообщения. *Аддитивные* метки допускают добавление метки в скрытые области файла. По нашему мнению, наиболее перспективным является сочетание подходов осаждения множественных обратимых аддитивных меток. Наличие нескольких меток, осаждаемых разными способами, позволяет проверить целостность файла, обратимость позволяет получить исходный контейнер, а аддитивный подход может быть реализован в приложении.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦИЙ НА ПЛАТФОРМЕ ASTERISK**

На сегодняшний день традиционные телефонные сети вытесняются IP-телефонией (голосовая связь, которая осуществляется посредством IP-сетей) за счет низкой стоимости звонка, простоты развертывания и конфигурирования при достаточно высоком качестве связи.

Одним из наиболее популярных решений АТС на основе IP-телефонии является программное обеспечение Asterisk [1].

Применение системы Asterisk позволяет существенно нарастить возможности традиционной АТС, включив функции мониторинга звонков, записи разговоров, коммутации соединений через панель управления, голосового приветствия, динамической очереди распределения входящих звонков, воспроизведения музыки при ожидании, автоматического распределения звонков между операторами, организации аудио-конференций и т.д. При этом нет необходимости в покупке дополнительных лицензий и плат телефонии.

В 2017 году компания Digium опубликовала релиз новой стабильной ветки открытой коммуникационной платформы Asterisk 15 [2], используемой для развертывания программных АТС, систем голосовой связи, VoIP-шлюзов, организации IVR-систем (голосовое меню), голосовой почты, call-центров, телефонных и видеоконференций.

До появления 15-ой версии Asterisk организовать видеоконференции можно было с помощью сторонних сервиса видеоконференций. Одно из популярных решений базировалось на использовании сервера TrueConf.

Из минусов реализации видеоконференций через сервер TrueConf можно выделить следующие:

- требуются дополнительные ресурсы для установки сервера TrueConf;
- необходимы дополнительные настройки как на сервере Asterisk, так и на сервере TrueConf;
- для организации видеоконференции операторы вынуждены использовать клиентское приложение TrueConf.

Но благодаря новым возможностям 15-ой версии Asterisk, больше нет необходимости использовать стороннее ПО для организации видеоконференций.

На сегодняшний день существует множество программ, с по-



мощью которых можно совершать аудио и видеозвонки через Asterisk, однако не существует ПО, которое использует новые возможности IP-АТС Asterisk, для организации видеоконференций.

Поскольку в технической литературе не описывается опыт использования сервиса видеоконференции, в котором в качестве сервера видеоконференции применялся бы Asterisk, то цель нашей работы является исследование новых возможностей Asterisk по организации видеоконференций и создание ПО, которое будет совмещать в себе возможности как совершения обычных звонков, так и создание видеоконференций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт Asterisk [Электронный ресурс]/ Режим <https://www.asterisk.org/> Дата доступа: 24.01.2020
2. Сайт о 15-ой версии Asterisk [Электронный ресурс] / Режим <https://igorg.ru/2017/09/22/chto-novogo-v-asterisk-15/> / Дата доступа: 15.01.2020
3. Сайт о АМІ интерфейсе Asterisk [Электронный ресурс] / Режим [https://www.pbxware.ru/wiki/asterisk\\_managment\\_interface\\_ami/](https://www.pbxware.ru/wiki/asterisk_managment_interface_ami/) Дата доступа: 18.01.2020

УДК 347.214.23:004.9

Е. С. Сахонь, ассист. (БГТУ, г. Минск)

#### **ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Программный комплекс виртуальных лабораторных работ для дистанционного обучения по дисциплине «Физика» выполнен с помощью программы трёхмерного моделирования 3DsMAX, межплатформенной среды разработки Unity и языка программирования C#. Каждая виртуальная лабораторная работа комплекса основана на материалах лабораторного практикума, изданного в учреждении образования «Белорусский Государственный Технологический Университет».

Выполнение виртуальной лабораторной работы происходит аналогично действиям студента, осуществляемым при выполнении реальной лабораторной работы на занятии с преподавателем. Таким образом, обучение с помощью данного ресурса может быть осуществлено как на сайте, где располагается актуальная версия лабораторных работ, так и на персональном компьютере студента.

Разработанная технология обладает полным функционалом для

осуществления лабораторных работ. В первую очередь для выполнения лабораторной работы на сайте находится теоретический материал, а также в самом приложении присутствуют краткие справочные сведения. Для работы с установкой разработана уникальная система, позволяющая при наведении на отдельные части установки увидеть их названия и приблизить камеру к ним. Ход выполнения лабораторной работы задан программно, и лишь после выполнения определённой задачи пользователь может приступить к следующей. После проделывания лабораторной работы, все сделанные им измерения сохраняются в таблице. Таким образом, данная система полностью имитирует выполнение лабораторной работы в классе.

Экспорт приложения осуществлен под веб-ресурсы, таким образом были выполнены следующие задачи при создании комплекса лабораторных работ:

- проектирование UX интерфейса, а именно анализ пользовательского процесса поведения в ходе выполнения заданий, его последовательность действий;
- разработка UI дизайна приложения для удобного и интуитивного пользования установками;
- разработка моделей установок в программе 3DsMAX;
- импорт и настройка установок в программе Unity, их последующее программирование с созданием уникального кода;
- разработка сайта для размещения установок;
- сборка проекта под различные платформы.

В докладе утверждается, что в дальнейшем обучении студентов имеет место быть использование виртуальных лабораторных работ для подготовки к лабораторным работам или их сдаче.

УДК 004.051

А. В. Богатко, маг.; Н. И. Гурин, доц., канд. физ.-мат. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Современное дистанционное обучение (ДО) с применением компьютерных образовательных систем (КОС), как и любая организационно-педагогическая модель получения образования, требует постоянного совершенствования и адаптации к текущим реалиям. В связи с чем существует необходимость выявления резервов повышения эффективности образовательного процесса.

В свою очередь эффективность образовательного процесса при ДО в основном базируется на эффективности функционирования КОС. С целью выявления резервов повышения эффективности функционирования КОС необходимо провести ее анализ, что позволит сделать вывод об удобстве использования КОС, целесообразности применения и принципах функционирования.

Для анализа эффективности функционирования разработана методика и инструментарий оценки КОС в результате решения задач:

- оценка возможности достижения образовательного результата, сформулированного в НПА Республики Беларусь;
- выявление, анализ и учет мнений обучающихся об организации и сопровождении процесса обучения, используемых средствах и технологиях;
- оптимизация трудозатрат обучающихся на освоение материала и трудозатрат преподавателей на разработку материалов и сопровождение систем;
- оценка влияния средств и методик обучения на конкурентоспособность обучающихся по завершению обучения.

При определении количественных значений оценок эффективности использования КОС исследовались характеристики:

- качество используемого ПО – факторы качества;
- затраты на внедрение и эксплуатацию КОС, на оборудование, необходимое для реализации ДО с использованием КОС;
- результативность обучения и причинные связи вследствие использования КОС, влияющие на успеваемость.

Для анализа вышеперечисленных характеристик разработаны критерии, показатели и методика их оценки. Разработка методики осуществлялась на основании принципов оценки, представленных в методе анкетирования, сравнения, методе экспериментальной оценки эффективности и педагогической целесообразности использования и методе экспертной оценки на соответствие требованиям регламентов и стандартов.

В соответствии с разработанной методикой оценка качества компьютерных образовательных систем осуществляется группой экспертов [2].

Для обеспечения возможности получения интегральной оценки по группам показателей качества используют факторы качества: надежность, сопровождаемость, удобство использования, эффективность, универсальность, функциональность.

Для оценки качества КОС методом экспертного опроса составляется таблица значений оценочных элементов.

Определение усредненной оценки оценочного элемента по нескольким его значениям проводится по формуле:

$$m_{kq} = \frac{\sum_{s=1}^t m_s}{t},$$

где  $t$  – число значений оценочного элемента;  $k$  – порядковый номер метрики;  $q$  – порядковый номер оценочного элемента.

Итоговая оценка  $k$ -й метрики  $j$ -го критерия ведется по формуле:

$$P_{jk}^M = \frac{\sum_{q=1}^Q m_{kq}}{Q},$$

где  $Q$  – число оценочного элемента в  $k$ -й метрике.

Абсолютные показатели критериев  $i$ -го фактора качества определяются по формуле:

$$P_{ij} = \sum_{k=1}^n (P_{jk}^M \times V_{jk}^M),$$

где  $n$  – число метрик, относящихся к  $j$ -му критерию;  $V_{jk}^M$  – весовые коэффициенты  $k$ -й метрики  $j$ -ого критерия качества.

Сумма весовых коэффициентов показателей уровня, относящихся к  $i$ -му показателю вышестоящего уровня, есть величина постоянная. Сумма весовых коэффициентов принимается равной 1.

Относительный показатель  $j$ -го критерия  $i$ -го фактора качества вычисляется по формуле:

$$K_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{ij}^{баз}}.$$

Фактор качества ( $K_i^\Phi$ ) вычисляется по формуле:

$$K_i^\Phi = \sum_{j=1}^N (K_{ij} \times V_{ij}^k),$$

где  $N$  – число критериев качества, относящихся к  $i$ -му фактору.

Затраты на внедрение и эксплуатацию КОС определяются путем определения совокупной стоимости владения (ТСО) – общей величины материальных и временных затрат, связанных с приобретением, развертыванием и обслуживанием программного и аппаратного обеспечения [3, 4].

Совокупная стоимость владения включает затраты на обновление ПО и оборудования, обучение, обслуживание, администрирование и техническую поддержку и определяется по формуле:

$$ТСО_{КОС} = I + E_{мес} \times T_{план},$$

где  $I$  – размер первоначальных инвестиций в КОС;  $E_{мес}$  – ежемесячные затраты;  $T_{план}$  – период оценки в месяцах.

Первоначальные инвестиции складываются из стоимостей ПО КОС; вспомогательного ПО; компьютерного оборудования; сетевой инфраструктуры; интеграции КОС с информационными системами учреждения; обучения сотрудников работы с КОС.

Затраты на интеграцию определяются по формуле:

$$I_{\text{интегр}} = I_{\text{интегр}}^{\text{КОС}} + I_{\text{интегр}}^{\text{УЧР}}$$

где  $I_{\text{интегр}}^{\text{КОС}}$  – стоимость доработок КОС, выполняемых поставщиком;  $I_{\text{интегр}}^{\text{УЧР}}$  – стоимость внедрение выполненных доработок в информационные системы учреждения.

Стоимость обучения определяется по формуле:

$$I_{\text{обуч}} = \sum N_i \times t_i \times C_i,$$

где  $N_i$  – количество обучающихся сотрудников  $i$ -й категории;  $t_i$  – время их обучения;  $C_i$  – затраты за единицу времени обучения сотрудников  $i$ -й категории.

Эти затраты складываются из затрат на оплату труда сотрудников за время обучения и стоимости проведения самого обучения.

Ежемесячные затраты складываются из прямых ежемесячных затрат на обеспечение работы; ежемесячных затрат на обеспечение интеграции КОС с информационными системами учреждения.

Цель оценки результатов обучения – подтверждение достижения целей обучения, включая оценку результативности обучения. Используемый метод оценки результативности – анкетирование.

В результате проведенного исследования КОС на основе разработанной методики анализа и оценки эффективности функционирования КОС, предложены методические и практические рекомендации по использованию КОС в учреждениях образования, осуществляющих подготовку специалистов на дистанционной форме обучения.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Экспертиза программных продуктов для системы образования [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ise.stavsu.ru/?IdSec=4&IdItem=7>.

2 Об утверждении Инструкции о порядке осуществления экспериментальной и инновационной деятельности в сфере образования и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства образования Республики Беларусь : постановление Министерства образования Респ. Беларусь от 01 сент. 2011 г., № 251 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2011. – № 127. – 8/24371.

3 Путковская С.А. Оценка экономической эффективности систем дистанционного обслуживания на рынке банковских услуг //Сборник научных трудов Балтийской академии туризма и предпринимательства. СПб.: Издательство «АСТЕРИОН», 2007. – С. 109–114.

4 Путковская С.А. Оценка внедрения системы дистанционного банковского обслуживания как инвестиционного проекта /Гуманитарное знание. - СПб.: Астерион, 2008. Выпуск 10. – С. 158–163.

## **О НЕКОТОРЫХ ПРИЧИНАХ СНИЖЕНИЯ СКОРОСТИ РОСТА ЧАСТОТЫ ПРОЦЕССОРА**

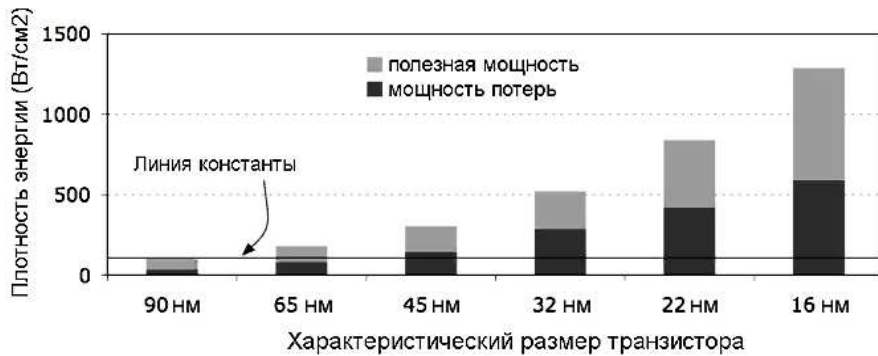
Когда-то тактовая частота процессоров значительно повышалась из года в год. В 1990-ых и нулевых она ускорялась, например с 60 МГц пентиумных чипов до 1000 МГц и выше за 10 лет прогресса.

Сейчас же лучшие в своих категориях процессоры перестали расти в направлении увеличения тактовых частот. Профессиональные методы позволяют достигнуть результата в 9 ГГц при помощи специальных охлаждающих систем, например, на основе жидкого азота, однако для большинства пользователей 5 ГГц – это максимум, который до сих пор не преодолен.

Intel однажды планировала достигнуть планку частот в 10 ГГц, однако прошло 10 лет, и это осталось лишь несбывшимся планом. Почему же процессоры перестали ускоряться? Начнут ли опять расти их тактовые частоты, или это время уже прошло?

В 1974 году Роберт Х. Деннар и его коллеги-инженеры опубликовали ставшую впоследствии знаменитой статью для журнала IEEE Journal of Solid State Circuits. Было установлено, что по мере уменьшения размера транзисторов плотность потребляемой ими мощности остаётся постоянной. На сегодняшний день большинство специалистов пришло к мнению, что закон масштабирования Деннара потерял актуальность где-то между 2005 и 2007 годами. Это произошло благодаря увеличению предела современных возможностей отвода тепловой энергии от чипа.

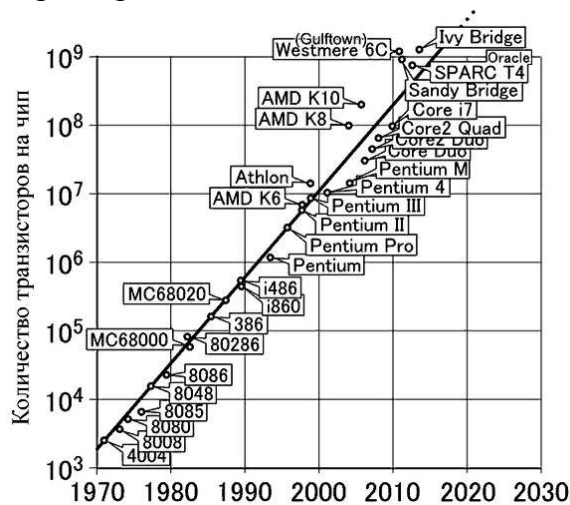
Тепловые потери играют огромную роль в проектировке чипов. Миллионы транзисторов на одном процессоре выделяют большое количество тепла в каждую секунду. Это тепло смертельно для высокоточного и высокоскоростного кремния. До определённых пределов проблема решается улучшением систем охлаждения процессоров, что позволяет долго оставаться на повышенных тактовых частотах. Однако чем больше добавляется транзисторов, тем лучше должна быть система охлаждения, чтобы компенсировать рост температуры. Увеличение тактовой частоты приводит к повышенному энергопотреблению и соответственно производству лишнего тепла, требующего лучшего охлаждения.



**Рисунок 1 – Нарушение закона Деннара**

Итак, повышение тактовой частоты ведёт к увеличению потребления электроэнергии чипом. В итоге производители сталкиваются с пределом, связанным с отводом тепловой энергии, что приводит к замедлению роста скорости процессоров.

Дизайн и состав транзисторов также замедляют ускорение тактовых частот. Закон Мура – это не закон, а, скорее, наблюдение: число транзисторов в плотной интегральной схеме удваивается примерно каждые два года. Производители оттачивали своё мастерство, увеличивая плотность размещения транзисторов, и этот закон оставался верным в течение примерно 50-ти лет.



**Рисунок 2 – Закон Мура**

В соответствии с данным законом размеры транзисторов уменьшаются на регулярной основе. Это означает, что увеличивается их общее количество в процессорах, что обычно приводит к увеличению производительности. Однако закон Мура содержал предпосылку о том, что размер транзистора может сколь угодно уменьшаться. На самом деле транзисторы построены из атомов и просто не могут продолжать делаться всё меньше и меньше.

Пока транзисторы со временем становились всё меньше и

меньше, их скорость работы оставалась неизменной. Обычно быстро-та их переключения увеличивалась за счёт уменьшения в размерах полевых транзисторов. Однако ещё со времен 45-ти нанометровых процессоров Intel размер затвора полевого транзистора уже составлял примерно 0,9 нанометров в толщину, что приблизительно равно ширине атома кремния. И хотя использование различных материалов для транзисторов позволит ускорить работу данной части, не стоит ожидать столь простых в плане технологий улучшений скорости тактовых частот.

Несколько улучшает ситуацию разработка FinFET фирмы Intel, также известная как Fin Field Effect Transistor, тип неплоского или "3D" транзистора, используемого в дизайне современных процессо-ров. Как и в более ранних плоских конструкциях, он построен на под-ложке кремния. Он занимает меньше места на штампе, поднимаясь "вверх", в третье измерение, и, соответственно унося с собой часть те-пла.

Плотность размещения и скорость переключения транзисторов не единственные факторы, влияющие на прогресс процессоров. Сего-дня огромную роль играют провода, подключающиеся к транзисто-рам, так как они тоже уменьшаются в размерах. Продуманная мар-шрутизация способна уменьшить затрату времени на перемещение электрического заряда в цепи и ослабить выработку тепла,

Всё вышеперечисленное поясняет, почему разработка более бы-стрых процессоров – трудная задача. И даже учитывая количество проблем, которые были уже решены прогрессом в области процессо-ров, прогноз не очень оптимистичен.

Благодаря ограничениям, следующим из законов физики для использующихся в данный момент материалов транзисторов, повы-шение тактовых частот чипов – это малоперспективный вариант уве-личения производительности компьютеров. На сегодняшний день ос-новное улучшение осуществляется за счёт увеличения числа процес-сорных ядер. В результате на рынке появляются всё больше и больше процессоров с большим количеством ядер. И хотя разработчики при-ложений ещё не в полной мере используют этот тренд, на данный мо-мент он, скорее всего, является основным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.maketecheasier.com/why-cpu-clock-speed-isnt-increasing/>
2. <https://www.quora.com/When-will-Moores-Law-really-stop-the-progression-of-faster-and-more-powerful-CPUs-and-GPUs>
3. <https://www.rambus.com/blogs/understanding-dennard-scaling-2/>



## **КОМБИНИРОВАНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

В последние десятилетия благодаря повсеместной цифровизации и компьютеризации всех сфер жизни общества значительно возросло количество текстов доступных для анализа. Многие статьи, новостные ленты и документы теперь доступны в электронном виде. На сегодняшний день уже невозможно представить себе современную малую или среднюю организацию без электронного документооборота. Все поступающие и исходящие документы находятся в электронном виде. Чтобы успешно конкурировать с крупными организациями, малым и средним организациям следует активно внедрять цифровые технологии, сервисы и продукты, позволяющие автоматизировать повседневный ручной труд сотрудников компании, добиваясь максимальной отдачи. Это может сыграть важную роль в успехе небольшой фирмы, так как крупные организации довольно часто не уделяют должного внимания данной проблеме, в связи с тем, что имеют достаточные человеческие ресурсы и могут позволить себе до определенного момента не придавать этому значения. Внедрение системы, позволяющей автоматически классифицировать поступающие текстовые документы, позволило бы сократить расходы и повысить качество работы компании.

На сегодняшний день автоматическая классификация текста, т.е. определение принадлежности текста к некой категории в условиях постоянно возрастающего объема используемой информации является актуальной и крайне интересной задачей. Категоризация текстовых данных или классификация документов является одной из основных задач в области анализа текстовых данных и поиска информации. На текущий момент, исследовано не мало эффективных методов и алгоритмов, применяемых для классификации текстовых данных, однако часто встречается что многие из них имеют ограниченную область применения. Последние исследования в области классификации текстов показывают, что использование комбинации из некоторых стандартных методов классификации показывают намного лучшие результаты.

Важным шагом в классификации текста является классификация текстовых документов среди некоторого известного набора классов (категорий). Важно классифицировать документ придерживаясь указанной сферы, потому что проблемы возникающие при интеллекту-

альном анализе текста, такие как суммирование текста, извлечение информации, обнаружение семантических отношений и т.д., могут быть корректно решены только исходя из специфики конкретной области документа.

Задача интеллектуального анализа текста может быть выполнена с помощью двух процессов: классификации и кластеризации. В то время как кластеризация – это неконтролируемый подход к обучению, который направлен на группирование набора связанных объектов данных в кластеры на основе некоторой меры сходства или расстояния между ними. Классификация – это контролируемая форма машинного обучения, целью которой является определение категории из набора категорий, к которым относится выбранный текст [1]. Это делается на основе заранее определенного набора данных для обучения.

На текущий момент известно достаточное количество методов классификации текста отлично зарекомендовавших себя при выполнении своих задач, но в целом ни один из методов не может быть оценен как лучший или худший для классификации текста. Вероятно, это связано с тем, что каждый метод имеет свое конкретное приложение или сферу, или он ограничен определенным видом данных для классификации текста.

В последнее время ведутся работы в направлении комбинирования известных методов классификации текста, так называемый гибридный подход. Этот подход фокусируется на индивидуальных преимуществах каждого метода, отбрасывая их недостатки и проверяя работали они с пользой или нет. Таким образом, объединение методов позволяет использовать преимущества каждого из них, которые в полной мере соответствуют потребностям выполняемой классификации, сводя к минимуму индивидуальные ограничения каждого метода [2].

Методы, применяемые при классификации текста, могут быть разделены на линейные (метод опорных векторов, логистическая регрессия) и вероятностные методы (метод Байеса, метод максимальной энтропии). Впоследствии, в ходе комбинации методов, методы, принадлежащие одной и той же парадигме, могут быть объединены.

Ларки и Крофт в [3] предлагают комбинацию трех классификаторов: KNN (К Ближайших соседей), обратной связи по релевантности и байесовских классификаторов, которые будут использоваться в медицинской области для автоматического назначения кодов ICD9. Задание было выполнено сначала с каждым из классификаторов в отдельности, а затем с объединением, чтобы проверить эффективность обоих подходов. В результате, благодаря объединению методов удалось добиться намного лучших результатов. Производительность методов из-

мерялась на основе ранга документов. Это один из примеров, где классификаторы используются для ранжирования документов. Подход заключается в использовании взвешенной линейной комбинации.

Ученый доктор Беннет совместно с коллегами [4] предложил вероятностный метод объединения классификаторов таким образом, чтобы вклад классификатора зависел от его достоверности. Достоверность измеряется с помощью показателей надежности, которые связаны с областями, где классификатор может работать довольно хорошо или плохо. Вместо ранга документа показатели основаны на эффективности самого классификатора, что делает предложение более обобщенным.

Еще один из вариантов классификации основан на теории Дампстера-Шафера. Его основная цель - объединение подклассификаторов, поскольку их применение направлено на классификацию по нескольким меткам.

Ученый Дино Иса совместно с коллегами в своих двух последовательных работах [5] предложили идею о том, как мета-результаты наивной байесовской техники могут использоваться с методом опорных векторов и самоорганизующимися картами (SOM) соответственно. Формула Байеса используется для преобразования текстового документа в векторное пространство, где значения обозначают вероятности документов для любого класса в зависимости от содержащихся в нем признаков. Это называется фазой векторизации классификатора. Это общее для обоих классификаторов. Метод опорных векторов затем применяется к этой модели векторного пространства для окончательного результата классификации. Предложение улучшило точность классификации по сравнению с чисто наивным байесовским классификационным подходом. За распределениями вероятностей, полученными с помощью метода Байеса, следует этап индексации, выполняемый с помощью самоорганизующихся карт для получения случаев наилучшего соответствия. Метод опорных векторов похож на кластеризацию документов на основе меры сходства между документами, как евклидово расстояние.

В последних исследованиях ученого Фрагоса [6] также делается вывод в пользу объединения разных подходов к классификации текста. Методы, которые объединил автор, относятся к одной и той же парадигме - вероятностей. Наивные байесовские и максимальные энтропийные классификаторы использовались для тестирования в приложениях, в которых эти методы могли бы показать максимальную производительность. Для получения результатов использовались операторы слияния.

На текущий момент объединение методов классификации текста становится все более многообещающей областью исследований. Объединение методов классификации дает намного лучшие результаты, чем использование тех же методов в отдельности. Получаемые результаты исследований все более стимулируют исследования в области классификации текста с помощью комбинаций методов. Таким образом, применение в организации автоматизированных систем классификации текстовой информации, позволит сократить расходы на человеческие ресурсы и повысить производительность труда и уровень удовлетворенности клиентов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Shai Shalev-Shwartz, Shai Ben-David. Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms/ Shai Shalev-Shwartz, Shai Ben-David // Cambridge, 2014 г. / С. 449.
2. W-C. Lin, S-W. Ke, C-F. Tsai, “An intrusion detection system based on combining cluster centers and nearest neighbors”, Knowledge-Based Systems, vol. 78, 2015, С. 97.
3. M. Sharma, K. Das, M. Bilgic, B. Matthews, D. Nielsen, N. Oza, “Active Learning with Rationales for Identifying Operationally Significant Anomalies in Aviation”, Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases. Lecture Notes in Computer Science, vol 9853, 2016, С. 359.
4. M. Panda, A. Abraham, M. Patra, “Hybrid intelligent systems for detecting network intrusions”.Security Comm. Networks,vol. 8, 2012, С. 2995.
5. Dino Isa, V. P Kallimani and Lam Hong lee, “Using Self Organizing Map for Clustering of Text Documents”, Expert System with Applications, vol. 36, no. 5, July, 2017, С. 596.
6. S. Ramasundaram, “NGramsSA Algorithm for Text Categorization”, International Journal of Information Technology & Computer Science ( IJITCS ), Volume 13, Issue No : 1, 2014, С. 49.

А. Вахаб, асп.; Д.М. Романенко, доц.  
(БГТУ, г. Минск)

## **СТРУКТУРА КЛЮЧА ДЛЯ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИКАЦИИ ЦВЕТОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Проблема защиты авторских прав существенно обострилась в связи с вступлением человечества в цифровую эру, где вся информация хранится и передается в цифровом виде. Рассылка документов (текстовых, графических и т.д.) по сети предполагает, что их может получить большое число адресатов. Это также дает возможность недобросовестным пользователям адаптировать или перерабатывать информацию с целью извлечения коммерческой выгоды. Угроза информационного пиратства стала реальностью.

Авторское право распространяется на результаты науки, произведения литературы и искусства, находящиеся в какой-либо объективной форме (в том числе и цифровой):

- письменной (рукопись, машинопись, нотная запись);
- электронной (компьютерная программа, электронная база данных, текст);
- звуко- или видеозаписи (магнитная, оптическая, электронная);
- изображения (картина, рисунок, кино-, теле-, видео-, фотокадр);
- объемно-пространственной (скульптура, макет, сооружение).

Одним из направлений решения указанной проблемы в контексте защиты авторства на объекты в цифровом виде является применение современных стенографических методов.

Цифровая стеганография – направление классической стеганографии, основанное на сокрытии или внедрении дополнительной информации в цифровые объекты, вызывая при этом некоторые искажения этих объектов. В рамках представленного исследования предлагается модификация техники осаднения секретной информации в растровые изображения методом LSB.

Целью модификации является минимизация отклонений цветовых значений модифицированных бит от начальных значений, что позволит достичь большей стегостойкости метода осаднения. Как известно изображение в формате *rgb* по сути представляет собой три массива яркостей пикселей – по одному на каждый канал. Количество

строк и столбцов в массиве соответствует количеству пикселей изображения по горизонтали и вертикали.

$$A_{red} = \begin{pmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,n-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m-1,0} & a_{m-1,1} & \dots & a_{m-1,n-1} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$A_{green} = \begin{pmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,n-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m-1,0} & a_{m-1,1} & \dots & a_{m-1,n-1} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$$A_{blue} = \begin{pmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,n-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m-1,0} & a_{m-1,1} & \dots & a_{m-1,n-1} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Суть модификации заключается в следующем. На начальном этапе с помощью секретного ключа определяется выборка бит изображения, в которые будет осаждаться секретная информация. Длина выборки равна количеству символов в применяемом алфавите. Так, например, для латинского алфавита, при условии, что выборку осуществляем по красному каналу, она может быть следующей (в векторе  $A'$  содержатся 26 значения яркостей красного канала, каждая из которых заканчивается на 7).

$$A' = (17, 27, 27, 37, 7, 47, 7, 17, 97, 57, 67, 17, 7, 67, 67, 7, 17, 7, 7, 17, 7, 57, 47, 57, 17, 7)$$

$\uparrow$   $\uparrow$

$\downarrow_{i,j} (0,5)$      $\downarrow_{i,j} (0,43)$   $\downarrow_{i,j} (0,172)$      $\downarrow_{i,j} (0,569)$      $\downarrow_{i,j} (0,901)$

**Рисунок 1 – Выборка значений яркости из красного канала**

Как видно из рисунка, 26 значения яркости могут быть выбраны из одной строки изображения (значение первого пикселя в выборке равно 17, а его реальный физический адрес в изображении (0,5), а значение последнего пикселя равно 7, а его физический адрес, например, (0, 901), но это не является обязательным условием. Варьировать метод выборки можно будет, задавая соответствующую информацию в стеганографическом ключе.

Количество выборок будет равно количеству осаждаемых символов. В выборку попадают только те биты, младший разряд которых соответствует требованиям ключа. Так, например, в представленном примере предполагалось увеличивать младшие разряды, равные 7, на 1. В таком случае в области осаждения должны быть изначально изменены младшие разряды бит, равные 8 на ближайшее значение, на-

пример, 9. В выборке на 1 увеличивается тот бит, абсолютный номер которого соответствует номеру осаждаемого символа в алфавите. Пусть используем следующий алфавит «ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ», состоящий из 26 букв. При необходимости осаждения буквы «Н» необходимо на единицу изменить 8-ой бит в выборке, т.е. согласно рисунку 1, в массиве значений яркости красного канала пикселю с адресом (0, 43) значение яркости будет изменено с 17 на 18.

Предложенный метод осаждения требует использование составного ключа, состоящего как минимум из следующих параметров.

1. Используемый канал (красный, зеленый, синий) или их комбинация. Суммарно данная часть ключа будет состоять из 4 бит: первый бит соответствует красному каналу, второй – зеленому, третий – синему, а четвертый – альфа-каналу. Единица в разряде канала будет указывать на то, что его нужно использовать при осаждении авторской информации. Так, например, 1000 означает, что для осаждения будет использоваться только красный канал, 1010 – красный и синий.

2. Адрес начального бита выборки. Будут состоять из 32 бит, из которых первые 16 определяют строку изображения для начала выборки, а вторые 16 – номер столбца. Однако если предусмотреть разные отправные точки в выборке бит по разным канал, то суммарно данная часть ключа будет равна  $4 \times 32$  бит. Так, например, если в соответствии с первой частью ключа предусматривается осаждение только в красный канал, т.е. 1000, то первые 32 разряда второй части ключа должны хранить информации о начальном адресе, остальные же разряды заполнены двоичными нулями.

3. Метод формирования выборки, например, из одной строки изображения, или обязательно по одному значению из последовательно идущих разных строк изображения и т.д. Для данного параметра предположительно будет достаточно 8 бит, что соответствует 256 комбинациям.

4. Младший разряд, подлежащий изменению в исходной выборке при осаждении – 4 бита.

5. Математическая операция, применяемая к младшему разряду при осаждении информации – добавление или вычитание единицы. В связи с этим данная часть ключа будет состоять из единственного бита – «0» будет означать, что выполняем вычитание 1, а «1» – наоборот, добавление единицы. Отметим, что сочетание четвертого и пятого пункта определяем маскирующий бит, который в зоне выборки должен быть предварительно изменен на 1.

Секретный ключ может быть расширен и дополнительными параметрами, например, количеством повторений операции осаждения и т.д.

В заключении необходимо отметить, что предложенный метод позволяет осаждать секретную информацию, при этом начальные значения пикселей будет изменяться только лишь на 1, что должно повысить стегостойкость контейнера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Urbanovich, N. The use of steganographic techniques for protection of intellectual property rights / N. Urbanovich, V. Plaskovitsky // Electrical Review (Przegląd elektrotechniczny). – 2012. – № 11b. – S. 342–344.

2. Романенко, Д.М. Методы цифровой стеганографии на основе модификации цветовых параметров изображения / Д. М. Романенко, Алаа Вахаб // Труды БГТУ. – 2018. – № 1 (206). – С. 94–99.

УДК 003.26 +347.78

Р.И. Белькевич, асп.; Д.М. Романенко, доц.  
(БГТУ, г. Минск)

### **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ЗАЩИТЫ ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПО ДВОИЧНЫМ КАНАЛАМ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СХЕМЫ КОДИРОВАНИЯ**

В рамках данной работы предполагается, что применение последовательно-параллельных методов кодирования и декодирования положительно скажется на возможность исправления ошибок, возникающих во время передачи бинарной последовательности. Для проверки этого предположения необходимо реализовать систему передачи данных, состоящую из двух модулей:

- Кодер
- Декодер

Разрабатываемый кодер является сложной системой, состоящей из множества составных частей. Из основных компонентов можно перечислить модуль кодера, модуль имитации передачи и модуль декодера. Из вспомогательных модулей необходимо реализовать модули построения трехмерной структуры, модуль формирования бинарной строки, модуль параллельной обработки, модуль параллельной обработки ошибок и модуль анализа результатов.

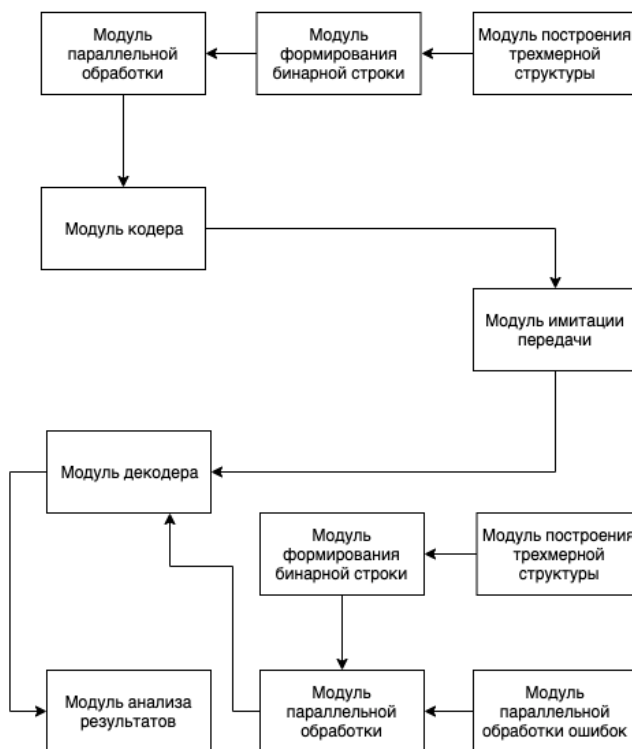
Схема всей системы представлена на рисунке 1.

Модуль построения трехмерной структуры решает задачу по преобразованию одномерной строки входных бинарных данных в



трехмерный куб. В дальнейшем эта структура разбирается на составные части в модуле формирования бинарной строки. Параметры формирования строк задаются внутри модуля и могут породить разнообразные комбинации входных данных для модулей кодера и декодера.

Модуль параллельной обработки решает задачу распараллеливания процессов, тем самым компенсирует задержки в работе последовательных методов кодирования и декодирования.



**Рисунок 1 – Общий вид модулей системы**

Модуль анализа результатов решает задачу сбора статистики работы кодера и анализ успешности применения данного метода.

Основной задачей кодера является подготовка бинарных данных к передаче. В основе разрабатываемого метода лежит идея о представлении одномерного потока двоичных данных в виде трехмерной структуры, некоего куба. Именно такая структура дает возможность формировать различные вариации наборов двоичных данных для последующей ее обработки различными методами кодирования.

В качестве возможных вариаций рассматривается формирование бинарных строк из рядов элементов одного слоя, столбцов из элементов одного слоя, столбцов из элементов разных слоев, диагонали составленной из элементов одного слоя либо диагонали составленной из элементов разных слоев. Подобная свобода в выборе исходных дан-

ных дает широкий спектр возможностей в плане выбора разных методов кодирования для разных вариаций данных, а так же это дает возможность использовать методы кодирования как по отдельности, так и в различных комбинациях.

На рисунке 2 отображена блок-схема кодера.



**Рисунок 2 – Блок-схема кодера**

Из-за большого объёма входных данных их последовательная обработка может занять внушительные временные промежутки. Поэтому в качестве компенсации медлительности такого подхода к кодированию бинарных последовательностей было предложено производить параллельную обработку бинарных данных последовательными методами кодирования. Этой задачей занимается модуль параллельной обработки. Его общая структура представлена на рисунке 3.

Первым этапом идет создание потока обработки бинарной строки. Следующим этапом выступает процесс выбора метода кодирования бинарной последовательности. После того как к бинарной строке выбран применяемый метод кодирования, можно приступить к парал-

лельной обработке данных. Для каждого потока процесса кодирования бинарной последовательности может выбираться как один и тот же метод кодирования, так и разные.



**Рисунок 3 – Блок-схема модуля параллельной обработки**

Декодер по своей сути мало чем отличается от кодера. Основные различия заключены в наличии механизма обнаружения ошибок на основе сгс-кодов и присутствии блока параллельной обработки и исправления ошибок. После того, как ошибка была обнаружена, можно приступить к ее исправлению с помощью необходимых методов декодирования.

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТРЕХ КУБОВ

В математике встречается ряд задач, которые в настоящее время не нашли практического применения. В тоже время при их решении создаются методы и алгоритмы, которые находят применение при решении других задач. К таким задачам, относится задача о сумме трех кубов:

$$x^3 + y^3 + z^3 = n, \quad (1)$$

где  $x, y, z$  и  $n$  целые числа.

Задача была сформулирована в 1825 г. Тогда же было получено первое решение для одного числа. В 1908 г. было найдено первое параметрическое решение для  $n = 2$ .

$$(1 + 6c^3)^3 + (1 - 6c^3)^3 + (-6c^2)^3 = 2.$$

В 1932 г было найдено параметрическое решение для  $n = 1$ .

$$(9b^4)^3 + (3b - 9b^4)^3 + (1 - 9b^3)^3 = 1.$$

Для решения этой задачи в 1955 г. начали использовать ЭВМ. Осенью 2019 г. были найдены решения уравнения (1) для чисел в диапазоне от 1 до 100. В настоящее время проводится поиск решения для  $n \leq 1\,000$ .

Первоначально для поиска решения на ЭВМ использовали метод сканирования (полного перебора возможных комбинаций чисел). Этот метод требует перебора большого количества комбинаций чисел. Например, для нахождения  $x, y$  и  $z$  для числа  $n = 3$

$$\begin{aligned} &569936821221962380720^3 + \\ &+ (-569936821113563493509)^3 + \\ &+ (-472715493453327032)^3 = 3 \end{aligned}$$

потребовалось бы перебрать  $(569\,936\,821\,221\,962\,380\,720 \cdot 2)^3 = 1\,481\,051\,411\,762\,869\,768\,240\,024\,516\,403\,912\,962\,288\,505\,200\,718\,711\,981\,993\,984\,000 \approx 1,481 \cdot 10^{63}$  вариантов.

Для уменьшения количества вариантов уравнение (1) преобразовали к виду

$$n - (x^3 + y^3) = z^3. \quad (2)$$

Это позволило сократить количество вариантов до  $(569\,936\,821\,221\,962\,380\,720 \cdot 2) \cdot 2 = 1\,299\,311\,920\,738\,380\,433\,390\,257\,122\,779\,560$

$910\,873\,600 \approx 1,299 \cdot 10^{42}$ . Количество исследуемых вариантов сократилось, но продолжает оставаться очень большим для быстрого нахождения решения.

Поэтому для решения уравнения (1) было предложено воспользоваться генетическим алгоритмом поиска решения.

Алгоритм состоит из четырех этапов. На первом этапе происходит генерация, случайным образом, нескольких вариантов решения. На втором – проводится оценка полученных вариантов, путем вычисления коэффициента выживаемости. При этом каждому решению ставится некое численное значение, зависящее от его близости к ответу.

Например, по следующему уравнению

$$a = |x^3 + y^3 + z^3 - n|, \quad (3)$$

где  $a$  – отклонение полученного решения от требуемого.

Полученная оценка используется для вычисления веса полученного решения по формуле:

$$v_i = \frac{\frac{1}{a_i}}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{a_i}}. \quad (4)$$

Таким образом, решения, которые имеют наименьшее отклонения от требуемого будут получать наибольшей вес в колесе удачи (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Колесо удачи**

На следующем этапе случайным образом выбираются решения для скрещивания. Выбранные решения скрещиваются, при этом часть решения берется из решения «отца», оставшаяся часть из решения «матери». Над полученным в результате скрещивания решения может дополнительно проводится операция мутации.

Процесс повторяется до тех пор, пока уравнение (3) не станет тождеством или решение не будет найдено.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Patrick Honner, Why the Sum of Three Cubes Is a Hard Math Problem [Электронный ресурс] / Quanta Magazine – Illuminating Science – Режим доступа: <https://www.quantamagazine.org/why-the-sum-of-three-cubes-is-a-hard-math-problem-20191105/> (24.02.2020)

УДК 004.921, 004.94

В.С. Хворост, ассист.  
(БГТУ, г. Минск)

### **ВНЕДРЕНИЕ ПАЙПЛАЙНА РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИГР В ОБУЧАЮЩИЙ ПРОЦЕСС**

Основной задачей обучающего процесса является обеспечение студентов актуальными знаниями и навыками. Предмет «Основы трёхмерного моделирования» был переработан в соответствии с моделью работы современных компаний по разработке видеоигр. Процесс работы этих компаний основан на пайплайне.

Пайплайн – это весь процесс производства компьютерной графики. В пайплайн входит всё программное обеспечение (2D- и 3D-редакторы), то как переносятся данные из одного пакета в другой, то как получают исходные материалы и в каком виде они отдаются на выходе [1]. Пайплайн может быть абсолютно в любом процессе. Вот некоторые примеры пайплайнов в компьютерной графике: пайплайн создания CG-мультфильма, AAA-пайплайн, пайплайн создания локаций для игры, пайплайн создания визуализации интерьера.

Часто используемым в современных компаниях, которым требуются на работу квалифицированные специалисты, является AAA-пайплайн. Это большой технологический процесс по созданию и оптимизации модели, чтобы поместить ее в игру.

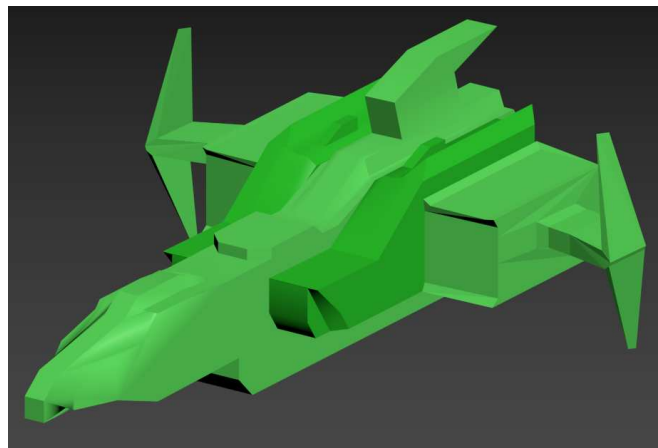
AAA-пайплайн состоит из пяти этапов:

- драфт (формы и силуэт);
- сетка (highpoly, lowpoly);

- UVW-развертка;
- запекание;
- текстурирование.

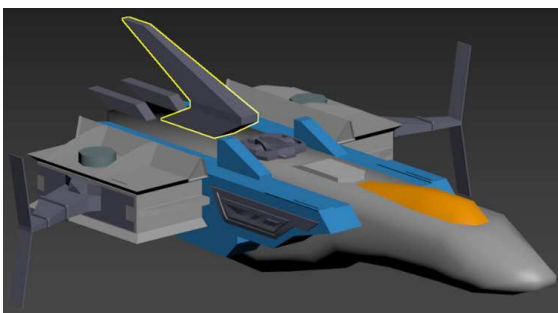
Правильно выполненные этапы дают на выходе качественную и оптимизированную под движок 3D модель. Поэтому по AAA-пайплайну работают 3D разработчики во всех студиях, разрабатывающих видеоигры.

Первый этап – драфт. Это формирование основы модели из наибольших ее форм без существенной детализации. Изначально необходимо собрать примеры будущей модели. Из примитивов создается весь объект, соблюдая пропорции и стилистику, а затем уже дорабатываются детали, механика модели. Драфт определяет, насколько модель будет удачна. Драфт на рисунке 1 разработан студентом 3 курса специальности ДЭиВИ.



**Рисунок 1 – Драфт самолёта**

Второй этап – работа с сеткой модели. Есть три вида топологий: легкая lowpoly, реалистичные highpoly и midpoly. Для видеоигр делают две модели: highpoly и lowpoly. Lowpoly – модель, в которой каждая плоскость, грань и вершина имеют функциональную задачу. На рисунке 2 приведена lowpoly модель самолёта.



**Рисунок 2 – Lowpoly модель самолёта**



**Рисунок 3 – Highpoly модель самолёта**

Highpoly – модель с большим количеством полигонов, максимально детализированная. Используется для создания карты нормалей.

Третий этап – создание развёртки. Развёртка представляет собой раскрой модели по сетке полигонов. Развёртка переносит объёмные формы на плоскость для того, чтобы на них можно было положить текстуры.

Четвёртый этап – запекание карты нормалей. Этот процесс используется для имитации неровностей поверхности и детализации (highpoly) на lowpoly объекте, так как в условиях разработки игр остро стоит вопрос о полигонаже моделей.

Пятый этап – текстурирование. В современных AAA проектах используется физически корректный рендер – PBR. В 3D графике он позволяет создавать максимально реалистичные объекты. Одна карта отвечает за один аспект итоговой текстуры объекта: карта цвета, карта бликов, карта детализации (нормалей) и т. д. Итоговая работа студента представлена на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Рендер самолёта**

Таким образом студенты с сжатые сроки изучили AAA-пайплайн и создали свои собственные 3д проекты, готовые и оптимизированные для внедрения в игру.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пайплайн (pipeline) [Электронный ресурс] / Компьютерная 3D графика. – Режим доступа: <https://3dyuriki.com/tag/pajplajn/>.



Н.И. Потапенко, ст. преп.; Т.А. Коротыш, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## **ТЕМА "ЗЕЛеной ЭНЕРГЕТИКИ" В ВЕБ-ДИЗАЙНЕ**

В современных реалиях вопросам экологии уделяется масса внимания, как со стороны средств массовой информации, так и образования. Современный человек, сталкиваясь с проблемами окружающей среды, вынужден для сохранения себя и внешнего, жить по законам энергосберегающей среды.

Впервые термин «экология» был введен профессором Йенского университета имени Фридриха Шиллера (нем. Friedrich-Schiller-Universität Jena), Э. Геккелем в 1866 году. Изначально экология рассматривалась как раздел биологии, изучающей взаимодействие живых организмов, относительно состояния окружающей среды. Затем появились такие понятия как "экосистема", "биоценоз", "биогеоценоз", которые фактически были идентичными. Проблемы, связанные с экологией окружающей среды, особенно активно начали акцентироваться с началом промышленной революции (18 век), затем в 20-21 веках с развитием технологий, освоением космоса и т.д. Вопросы взаимодействия человека и природы, его окружающей среды стали претерпевать качественные изменения. Деятельность человека меняет характеристики окружающей среды, причем в не лучшую сторону.

Белорусский государственный технологический университет является ведущим вузом в подготовке специалистов лесохозяйственной и химической отрасли, то есть отраслей, напрямую связанных с экологией. В Университете открыта специальность «Дизайн электронных и веб-изданий», которая ориентирована на подготовку специалистов для интернет-пространства.

Так как интернет и его разнообразные ресурсы в значительной степени формируют восприятие людьми окружающей среды, то нельзя оставаться в стороне и не уделять внимание вопросам экологии, а в контексте современности – «зеленой энергетики» при подготовке веб-дизайнеров.

Итак, что значит термин «зеленая энергетика» и как веб-дизайнеры могут способствовать пониманию и раскрытию этого термина?

Термин «зеленая энергетика» появился сравнительно недавно. И связан данный термин с ограниченными природными ресурсами. Главная проблема традиционных на данный момент ресурсов (уголь,

электричество) – это их ограниченное количество. Зеленую энергию иначе называют возобновляемой или регенеративной. Ее источники по разным данным считаются неисчерпаемыми. Суть указанного метода заключается в получении энергии из постоянно происходящих в природе процессов с последующим применением ее в технической сфере. Однако, эта тема также является не простой. Все природные ресурсы когда-нибудь заканчиваются. Средствами визуального дизайна мы пытаемся донести до публики очевидные вещи:

– и люди и животные хотят жить в комфортной для себя среде обитания;

– необходимо беречь наш мир во имя будущих поколений.

Что можно предпринять для раскрытия данной темы средствами визуального дизайна?

Например, постерами, приведенным на рисунок 1 (работа студентки 3 курса Татьяны Коротыш).



Рисунок 1 – Постер на экологическую тему

При проектировании композиции данной работы использовался метод диагональной композиции. Диагональный метод (метод диагоналей) – одно из правил композиции, которое утверждает, что зритель обращает больше внимания на детали, расположенные на четырёх биссектрисах, проходящих через углы кадра. В отличие от других правил композиции, такими, как правило третей и золотое сечение, диагональный метод не придает большого значения тому, в каких местах линии пересекаются и акцентирует внимание на произвольной позиции, лежащей по диагонали.

Доминантным является верхний левый угол, в котором находятся главные персонажи постера, как ключевая аллегория. Такое расположение предупреждает наблюдателя о начале движения, а вектор движения, направленный из верхнего левого угла в правый нижний угол нивелирует агрессивность и целеустремленность самого движения. Бизоны движутся плавно, спокойно, не принося разрушений, не вызывая страха и агрессии. И всё же надвигаясь на «островок цивилизации». Так достигается символичность работы.

Противоположной точкой композиции является урбанистический пейзаж, как символ внимания и забот человека. Антагонистическое расположение этих точек по вертикальной и горизонтальной осям приводит наблюдателя к мысли о том, что восприятие человека слишком узко. Он воспринимает свои заботы и проблемы как что-то глобальное, не замечая ничего вокруг. Завод, в данном случае, – аллегория этих забот. Они, безусловно, важны. Однако, они же и мешают человеку увидеть что-то большее и значительное.

Целью работы ни в коем случае не было показать необходимость отказа от благ цивилизации. Задача этой работы в другом: расширить рамки восприятия человеком мира, в котором он живёт, развенчать, сформировавшуюся в 20 в. теорию о «царе природы», подтолкнуть к восхищению нерукотворным и желанию интегрироваться в мир планеты. Композиция основана на слиянии, или проникновении мира живой природы и искусственной, и показывает, что нельзя в современном мире технологий не учитывать фактор «природной среды».

Эмоциональная составляющая подобных постеров, плакатов, коллажей весьма сильна. Задача дизайнера – донести до людей имеющимися у него средствами мысли о необходимости использовать возобновляемые источники энергии во имя сохранения планеты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный журнал «Наука и жизнь», №2, февраль 2020, // Н. МОИСЕЕВ, ЭКОЛОГИЯ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ (режим доступа: <https://www.nkj.ru/archive/articles/10376/>)

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЦВЕТА В ЗАЩИТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ**

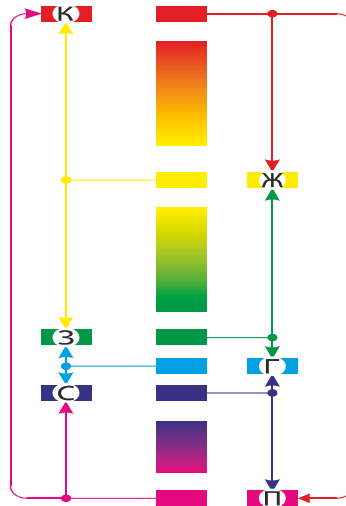
Графические изображения вносятся в документ на стадии допечатной подготовки и содержат защитные признаки: гильоширные элементы, гравюры, скрытые изображения и др.

Защищенная полиграфическая продукция имеет отличия от продукции общей полиграфии и в графическом исполнении. Продукция общей полиграфии, как правило, содержит цветную графику, которая печатается триадными красками в четыре цвета, и градации цветов передаются с помощью растра [1]. В защищенной же полиграфии растринг используется в исключительных случаях, например, при требовании точной передачи логотипа или эмблемы заказчика, которые выполнены с градациями цветов. Вся графика в защищенной полиграфии штриховая (векторная). Если требуется воспроизвести полутоновые сюжеты, то они выполняются методами векторной графики. Такой прием, конечно, сам по себе является элементом защиты, так как требует специализированных знаний в этой области и использования так называемых заказных цветов, выбор которых диктуется теми защитными свойствами, которые необходимо придать данному виду защищенной продукции. На практике для их выбора часто используют шкалу Pantone. При печати используют не триадные, а так называемые смесевые краски, цвет которых подбирается в соответствии с утвержденным оригинал-макетом. Также применяют специализированные технологии воспроизведения, например, орловскую печать или металлографию.

Специализированные краски и технологии обуславливают ограниченную область применения полиграфической защиты. В работе предложен метод воспроизведения цвета, который сочетает векторную структуру элементов и возможность варьирования цветовыми сочетаниями. Метод заключается в использовании стандартных объектов векторной графики с плашечными заливками базовых цветов триады CMY. Передача градаций осуществляется в результате совокупного действия двух факторов: 1) метамерности человеческого зрения; 2) низкой разрешающей способности глаза.

Явление метамерности заключается в невозможности определения спектрального состава действующего на глаз излучения. Цвет с длиной волны 570 нм будет восприниматься как желтый. С другой сто-

роны, можно получить тот же желтый цвет направленным смешением зеленого и красного излучений (подобно экранам мониторов). Глаз не сможет отличить между ними разницу в спектральном составе. Схематично метамерность можно представить в виде рисунка 1.



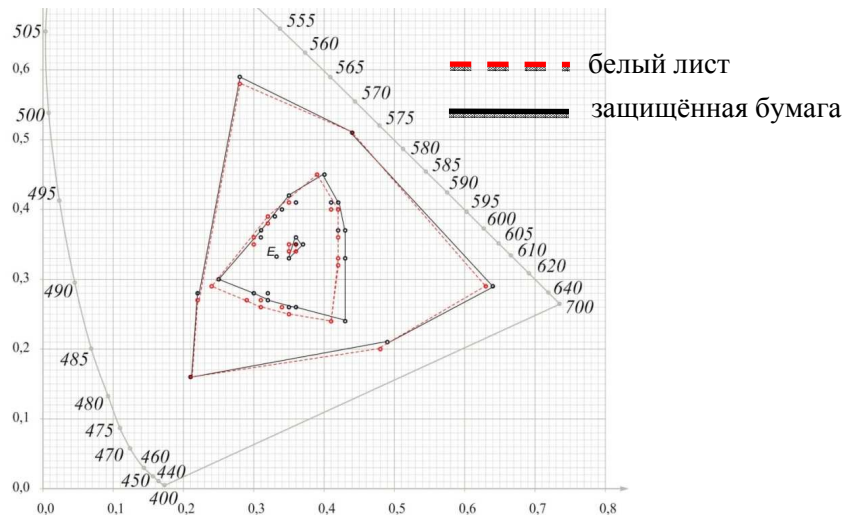
**Рисунок 1 – Схема воспроизведения цвета на основе метамерности зрения**

Из рисунка 1 видно, что весь видимый спектр можно воспроизвести двумя базовыми триадами – КЗС (Красный, Зеленый, Синий) и ГПЖ (Голубой, Пурпурный, Желтый). Причем триада КЗС действует в составе излучений, а ГПЖ – красок.

С другой стороны, разрешающая способность глаза имеет предел [2]. При удалении на определенное расстояние две рядом расположенные точки сольются в одну. Этот эффект используется в технологии стандартной полиграфии, когда изображение разбивается на точки, невооруженным глазом не заметные. За счет близкого расположения друг к другу точки разных цветов смешиваются в пространстве, формируя новый цвет и его переходы.

Предложено использовать вместо точек непрерывные линии, которые имеют строго заданную толщину и шаг для формирования цветовых переходов. С целью определения возможного цветового охвата было запечатано типовое защитное изображение с базовыми линиями триады ГПЖ. Результирующий цветовой охват представлен на рисунке 2. Как видно из рисунка происходит смещение цветового охвата. Чистые плащечные цвета в большей степени смещаются в зоне красных цветов. Цвета, полученные в результате смешения базовых – в зоне синих цветов. Смещение происходит из-за недостаточной белизны защищенной бумаги, изготавливаемой без специальных отбеливателей. Некоторые точки на графике дублируются. Можно заметить, что это

координаты цветов, которые были созданы различными комбинациями всех трех элементов системы ГПЖ, откуда следует, что цвет практически не зависит от последовательности расположения цветных контуров.



**Рисунок 2 – Цветовой охват защитных изображений на двух видах бумаги**

Смещение оси локуса происходит из-за того, что все элементы были расположены не вплотную (абрис к абрису), а с некоторым шагом, что дало разбелку цветового тона, смещение цветов и его поворот, т. е. цвет подложки вносит изменения в ощущение цветового тона.

Задавая определенные соотношения частоты линий, их цветности и толщины, можно получать непрерывные цветовые переходы по безрастровой технологии печати. Как было показано выше результирующий цвет, его насыщенность, будет зависеть от величины приближения линий друг к другу и типа бумаги, на которой будет воспроизведено защитное изображение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вашкевич, Н. А. Систематизация средств защиты документов от подделки : Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы: сб. науч. тр. / НПЦ Гос. ком. судеб. экспертиз Респ. Беларусь; редкол. : А. С. Рубис (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Право и экономика, 2017. – Вып. 2 / 42. – 151 с.
2. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами : учеб. пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. –2008. – 592 с.

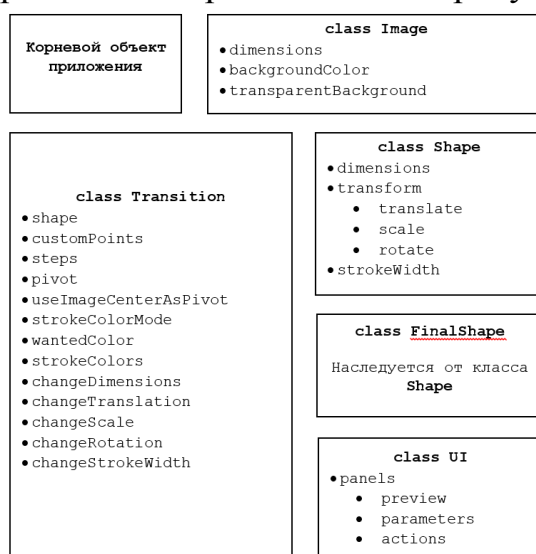
## ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ЗАЩИТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ АВТОТИПНОГО ЦВЕТОВОГО СИНТЕЗА

В настоящее время задача защиты авторских прав на изображения имеет большую важность. Одним из методов защиты является генерация изображений по технологии автотипного синтеза.

Автотипный синтез цвета – это получение оттенков цвета путем пространственного совмещения растровых или векторных изображений (линий, точек) разных цветов. Реализация программного продукта по данной теме подразумевает разработку нескольких модулей: для установки параметров генерируемого изображения, выбранного примитива, переходов, реализация алгоритма генерации защитного изображения, используя выбранные параметры, и сохранение сгенерированного изображения в формате SVG.

Для разработки программы используется javascript-фреймворка vue.js.

Структура приложения представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Структура программы для генерации защитного изображения**

Класс Image хранит данные об изображении и содержит такие параметры, как размеры изображения по горизонтали и вертикали, цвет фона, прозрачный фон.

Класс `Shape` хранит данные о примитиве и содержит такие параметры, как размеры по горизонтали и вертикали, трансформации (смещение, масштабирование, поворот), толщина обводки.

Класс `FinalShape` наследуется от класса примитива.

Класс `Transition` хранит данные о переходе между примитивами и содержит параметры: тип примитива (эллипс, круг, квадрат, прямоугольник, треугольник, линия и произвольный примитив); координаты точек, если пользователь выбрал произвольный примитив; количество шагов перехода; опорная точка, относительно которой поворачиваются и масштабируются примитивы; параметры для настройки отображения панелей.

Класс `UI` хранит данные об отображении элементов интерфейса. Фрагмент кода класса `Image` представлен на листинге 1.

```
class Image {
  constructor() {
    this.dimensions = {
      x: 400, y: 400
    }
    this.backgroundColor = "#000000"
    this.transparentBackground = false
  }
}
```

**Листинг 1 – Фрагмент кода класса `Image`**

Фрагмент кода класса `Shape` представлен на листинге 2.

```
class Shape {
  constructor() {
    this.dimensions = {x: 100, y: 200},
    this.transform = {
      translate: {x: 0, y: 0},
      scale: {x: 1, y: 1},
      rotate: 0,
    }
    this.strokeWidth = 1
  }
}
```

**Листинг 2 – Фрагмент кода класса `Shape`**

В третьем блоке можно выбрать тип примитива, количество шагов и желаемый результирующий цвет. Желаемый результирующий цвет формируется линиями разных цветов (голубой, желтый, пурпурный).

Например, чтобы получить зеленый цвет, нужно совместить голубой и желтые цвета. Фрагменты кода методов для расчетов представлены на листинге 3. Примеры генерации изображений приведены на рисунках 2, 3.

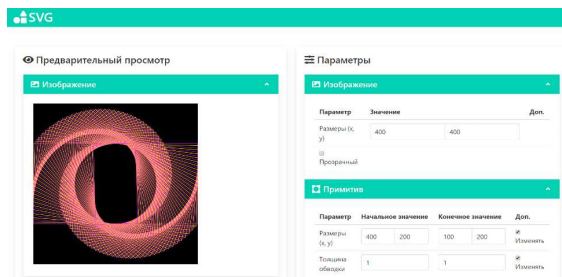


```

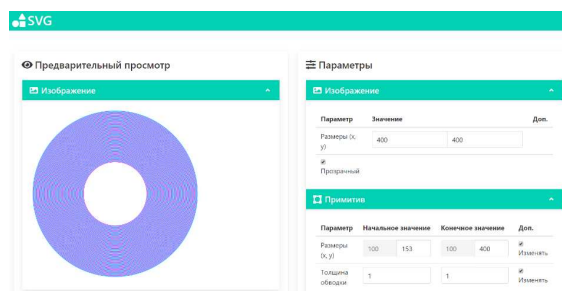
computed: {
  center() {
    return {
      x: this.image.dimensions.x / 2,
      y: this.image.dimensions.y / 2
    }
  },
  widthDelta() {
    if (!this.transition.changeDimensions) return 0
    return (this.shape.to.dimensions.x -
    this.shape.from.dimensions.x) / this.transition.steps
  },
  heightDelta() {
    if (!this.transition.changeDimensions) return 0
    return (this.shape.to.dimensions.y -
    this.shape.from.dimensions.y) / this.transition.steps
  },
  strokeWidthDelta() {
    if (!this.transition.changeStrokeWidth) return 0
    return (this.shape.to.strokeWidth -
    this.shape.from.strokeWidth) / this.transition.steps
  }
}

```

**Листинг 3 – Фрагмент кода расчетов**



**Рисунок 2 – Пример 1 генерации изображения**



**Рисунок 3 – Пример 2 генерации изображения**

Реализована возможность сохранить сгенерированное изображение в формате SVG и возможность посмотреть исходный код.

Т.В. Кишкурно, ст. преп.; Т.П. Брусенцова, ст. преп.  
(БГТУ, г. Минск)

## ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ И ЮЗАБИЛИТИ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ИНТЕРФЕЙСА

Процесс оценки качества пользовательского интерфейса достаточно субъективен и трудно формализуем, однако можно утверждать, что качественный интерфейс должен обеспечивать эффективную и продуктивную работу пользователя.

*Юзабилити* – это качественный критерий, позволяющий оценить, насколько легко применять пользовательские интерфейсы для использования. Смысловой перевод Usability – «удобство использования».

В свою очередь, удобство использования определяется 5 качественными компонентами (критериями более низкого уровня):

**Обучаемость** (Learnability): насколько легко пользователи смогут выполнить конверсионные задачи, в первый раз увидев дизайн лендинга?

**Эффективность** (Efficiency): после того, как пользователи ознакомились с дизайном веб-ресурса, как быстро они смогут выполнить стоящую перед ними задачу?

**Запоминаемость** (Memorability): если пользователи вернутся на web-страницу после периода достаточно долгого отсутствия, то как легко они смогут вспомнить алгоритм выполнения конверсионной задачи?

**Ошибки** (Errors): сколько ошибок во время интеракции с лендингом/сайтом пользователи сделают, насколько серьезными будут эти ошибки, и как легко пользователи смогут оправиться от этих ошибок (т. е. не будут ли разочарованы до такой степени, что попросту покинут веб-ресурс)?

**Удовлетворенность** (Satisfaction): насколько приятно пользоваться данным UI?

Т. о. Юзабилити определяет насколько легко и приятно пользоваться функциями интерфейса.

Есть много методов оценки юзабилити, но основным и самым полезным является пользовательское тестирование, состоящее из 3 последовательных операций:

- Привлечение некоторого числа респондентов, представляющих целевой рынок.
- Выполнение участниками теста типичных конверсионных задач.

- Наблюдение за ними: что они делают, что им удается, где у них есть трудности во взаимодействии с пользовательским интерфейсом.

При тестировании интерфейса было замечено, что респонденты встречая на своем пути множество ошибок и препятствий, тем не менее, оценивают интерфейс положительно, если им понравилась, например, цветовая схема или внешний вид сайта. Положительные отзывы о визуальной стороне дизайна во время тестовой сессии не обязательно означают, что ваш визуальный дизайн работает так, как надо. Ваш дизайн может быть визуально привлекательным, но при этом не очень функциональным. Например, визуальная иерархия сайта не коррелирует с содержимым. Положительный эмоциональный отклик достигнут только благодаря эстетической привлекательности ресурса, которая и помогает скрыть огрехи в дизайне и юзабилити. Вмешательство эффекта эстетики при оценке качества интерфейса говорит о том, что имеются проблемы с юзабилити, но это явный знак того, что визуальный дизайн справляется со своей задачей.

Эстетика любого интерфейса оказывает сильное воздействие на пользователя, даже когда он пытается оценить основной функционал системы. Другими словами, если дизайн обладает визуальной привлекательностью, то он вызовет позитивную эмоциональную реакцию у пользователей и сделает их более терпимыми к проблемам в юзабилити.

Этот эффект является одной из основных причин, почему качественный интерфейс должен быть не только функциональным, но еще и визуально приятным. Однако проектирование такого интерфейса, который привлекателен настолько же, насколько и функционален, трудоемко и стоит немалых денег. Кроме этого эффект эстетики в юзабилити имеет и свой предел. Красивый дизайн может сгладить небольшие проблемы, но серьезные ошибки пользователи проигнорировать уже не смогут. Как говорится в пословице – встречают по одежке, а провожают по уму.

Гиганты интернет-бизнеса, возглавляющие мировой TOP-500, обязаны своим успехом – помимо всего прочего, разумеется – и дизайну своих веб-ресурсов. Однако функциональный дизайн на практике всегда побеждает эстетический.

1. Эстетический подход: большинство веб-дизайнеров уделяет внимание красоте сайтов, только на словах уверяя клиентов, что они заботятся о целях бизнеса.

2. Функциональный подход: хороший дизайн основан на глубоком понимании одновременно нужд, как посетителей целевой страницы / сайта, так и бизнеса, владеющего этим веб-ресурсом. Под «глубоко» имеется в виду не слепое доверие словам заказчика «Я знаю, что

хотят мои клиенты», а результат широких исследований целевого рынка, для которого предназначен ресурс.

Возможен ли дизайн, одновременно функциональный и эстетический?

Красота понятие относительное. Это делает красоту вещь не слишком универсальной. Хуже того. Любая красота со временем надоедает и в лучшем случае перестает восприниматься.

Лучший интерфейс должен соблюдать баланс между ясностью целей и простотой использования. Именно поэтому в интерфейсах обычно не место красоте. Элегантность и гармония гораздо лучше, т. к. они не надоедают, редко осознаются потребителями, обеспечивая неощущаемость, приносят эстетическое удовольствие независимо от культурного уровня потребителя (так, древнегреческие и слегка менее древние римские здания воспринимаются нами красивыми, несмотря на абсолютную разницу культур и времени), в производстве они гораздо удобнее красоты, поскольку сравнительно легко ставятся на поток.

Если вы все-таки хотите сделать ваш сайт визуально привлекательным, то подумайте о минимализме – графическом и технологическом. Так у вас появится хорошая возможность для быстрого и безболезненного апгрейда веб-ресурса, а внешний вид будет отличаться *элегантной простотой*.

Хороший функциональный дизайн обладает самоценной красотой. Оптимизация «для красоты» хороша тогда, когда вы считаете, что на внешне «похорошевшем» сайте посетители будут эффективнее конвертироваться. Вот в этот момент теоретически происходит слияние функционального и эстетического дизайна в единое целое.

Внешний вид и функциональность должны идти рука об руку. Когда интерфейс страдает от непроработанного юзабилити или когда удобство использования приносится в жертву эстетике, пользователи, как правило, теряют терпение. В интернете все происходит еще быстрее, и они тут же покидают неудобный веб-ресурс.

Элегантный дизайн стоит затраченных на него средств. Он делает сайт в глазах пользователя более упорядоченным, профессиональным. Однако этот эффект проявляет себя ярче, когда эстетика находится в гармонии с содержимым сайта и его функциональной стороной. Происходит это потому, что пользователи склонны воспринимать привлекательные продукты как более полезные и удобные. Эстетическая привлекательность ресурса помогает скрыть огрехи в дизайне и юзабилити. Люди склонны считать, что вещи, которые выглядят лучше, также и работают лучше – даже если на самом деле они не превосходят аналогичные продукты в эффективности.

## **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ UML ДИАГРАММ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕБ-СИСТЕМ**

В ходе проектирования дизайнером создается проектная документация, включающая текстовые описания, диаграммы, модели будущей веб-системы. Для всего выше перечисленного и служит язык UML.

UML – унифицированный язык моделирования (Unified Modeling Language) – это система обозначений, которую можно применять для объектно-ориентированного анализа и проектирования. Его можно использовать для визуализации, спецификации, конструирования и документирования программных систем.

UML обеспечивает поддержку всех этапов жизненного цикла веб-системы и предоставляет для этих целей ряд графических средств.

Вне зависимости от методологии разработки веб-системы, которые применяются, первым этапом будет являться формулировка требований к продукту. В языке UML для формализации функциональных требований применяются диаграммы использования. В связи с этим, в данной работе мы рассмотрим особенности построения диаграмм вариантов использования (прецедентов, use case diagram).

Суть данной диаграммы состоит в том, что проектируемая система представляется в виде множества актеров, взаимодействующих с системой с помощью так называемых вариантов использования. Т.е. диаграмма прецедентов должна отображать возможные сценарии работы пользователя в системе. При этом актером (действующим лицом, actor) называется любой объект, субъект или система, взаимодействующая с моделируемой системой извне. Вариант использования – это спецификация функций (сервисов), которые система предоставляет актеру. Другими словами, вариант использования описывает, с точки зрения действующего лица, группу действий в системе, которые приводят к конкретному результату. При этом в модели никак не отражается то, каким образом будет реализован этот набор действий. Важно понимать, что идеологически use-case диаграммы должны отображать возможные сценарии работы пользователя в системе. Т.е. внутренние процессы системы (автоматические действия) возможно на данных диаграммах отображать не стоит.

При составлении диаграмм прецедентов, следует учитывать

следующие правила. Для прецедентов:

- каждый вариант использования относится как минимум к одному действующему лицу,
- каждый вариант использования имеет инициатора,
- каждый вариант использования приводит к соответствующему значимому результату,
- варианты использования могут взаимодействовать с другими вариантами использования.

Существуют три основных типа взаимодействия между вариантами использования:

1. Отношение *включения* указывает, что некоторое заданное поведение одного варианта использования обязательно включается в качестве составного компонента в последовательность поведения другого варианта использования. Стрелка включения должна быть направлена от базового (составного) варианта к включаемому и помечена стереотипом «include».

2. Отношение *расширения* определяет потенциальную возможность включения поведения одного варианта использования в состав другого. Т. е. дочерний вариант использования может как вызываться, так и не вызываться родительским. Стрелка расширения должна быть направлена от включаемого варианта к базовому и помечена стереотипом «extend». В отдельном разделе базового прецедента может быть описана точка расширения, а условия расширения могут быть приведены в комментарии с ключевым словом Condition.

3. Обобщение указывает, что вариант использования наследует характеристики «родительского» варианта использования и может переопределить некоторые из них или добавить новые, подобно наследованию в классах. Графически данное отношение обозначается сплошной линией со стрелкой, в виде не закрашенного треугольника, от потомка к родителю.

Одной из распространённых ошибок при составлении use case диаграмм – это неправильное использование отношений расширения и включения, в том числе в попытке использовать их для функциональной декомпозиции системы.

Действующее лицо (actor) является внешним источником (не элементом системы), который взаимодействует с системой через вариант использования. Действующие лица могут быть как реальными людьми (например, пользователями системы), так и другими компьютерными системами или внешними событиями. Как правило, актеры это группы действующих лиц, работающих с системой по-разному, часто из-за различных прав доступа.

Вывод. UML диаграммы прецедентов предназначены для описания функционала, который представляет система для пользователя. Использование данных диаграмм, в первую очередь, должно подчиняться практической целесообразности. Средства UML языка очень обширны и могут использоваться на различных уровнях проектирования:

- для создания концептуальных моделей для описания бизнес-деятельности,
- для создания логической модели программного обеспечения описание требований к системе,
- для создания физической модели детального проектирования.

Вариантов использования (процессы, которые могут выполнять пользователи) не следует делить слишком мелко, нужно выбирать лишь те, которые дадут пользователю значимый результат. В диаграммах стоит описывать существенные для пользователя прецеденты (способы поведения пользователя в системе) и притом только такие, которые могут быть поняты заказчиком и программистом по-разному.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.sites.google.com/site/anisimovkhv/learning/pris/lecture/> [Электронный ресурс]

УДК 621.396.98

А.А. Дятко, доц. (БГТУ, г. Минск)

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ОБЪЕКТА**

При разработке, испытаниях и эксплуатационном контроле РЛС традиционно используются натурные испытания. Однако они имеют ряд недостатков: высокую стоимость, сложность получения повторяющихся условий, а также практическую неосуществимость на ранних стадиях разработки. В связи с этим все большее распространение получают полунатурные испытания. В этом случае совокупность сигналов и помех на входе РЛС моделируется с помощью имитаторов. Для формирования эхосигналов в имитаторах используются математические модели радиолокационных объектов. В частности, в качестве радиолокационного объекта может выступать летательный аппарат, который движется по заданной траектории. В этом случае, для формирования отраженных от него сигналов, необходимо иметь координаты точек этой траектории.

Пусть в декартовой системе координат (СК)  $XYZ$  заданы  $N$  то-

чек,  $P_1, P_2, \dots, P_N$ , которые определяют некоторую траекторию полета воздушного объекта. В каждой заданной точке траектории известен модуль скорости объекта  $v_1, v_2, \dots, v_N$ .

Воздушный объект должен переместиться из начальной точки  $P_1$  в конечную точку  $P_N$ , пролетая при этом через точки  $P_2, P_3, \dots, P_{N-1}$ . Будем полагать, что траектория полета воздушного объекта представляет собой набор прямолинейных отрезков, которые соединяются между собой некоторой кривой, называемой виражом. Вход и выход летательного аппарата из виража должен выполняться по касательной к траектории виража. Считаем, что вираж выполняется по окружности, радиус которой известен.

В работе приведен метод вычисления координат траектории полета летательного аппарата, заданной множеством своих опорных точек и значениями радиусов окружностей, по которым летательный аппарат должен выполнять вираж в случае изменения направления своего движения.

Показано, что наиболее просто необходимые вычисления выполняются в специальной системе координат, положение которой в пространстве определяется тремя опорными точками траектории.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Остославский И.В. Динамика полета. – М.: Машиностроение, 1969.
2. Порев В.Н. Компьютерная графика. СПб.: БХВ-Петербург, 2002.

УДК 541.371.654.9

Г.А. Ихтиярова, проф.; М.Ш. Ахадов, преп.;  
Н.Х. Журакулова, преп.  
(Ташкентский государственный технический университет,  
Наваинский педагогический институт,  
Каршинский государственный университет)

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ И 3D-ТЕХНОЛОГИЙ ПО ПРЕДМЕТУ ХИМИЯ**

Одним из важных направлений реформирования образовательной системы является системная модернизация учебного процесса по химии с использованием информационно-коммуникационных технологий, то есть 3D-технологий. Использование виртуального обучения и 3D-технологий при организации дневных и заочных курсов по химии, лекций, лабораторных и практических занятий повышает эффек-



тивность учебного процесса и характеризуется развитием интеграции науки и производства [1].

Виртуальная реальность – это искусственная информационная среда, целью которой является замена традиционного мышления - информации, генерируемой различными техническими средствами. Создание инструментов визуализации информации для разработки инструментов виртуальной реальности для образовательных целей - может дать педагогический эффект, который не может быть достигнут другими техническими средствами [2].

Термин «виртуальность» происходит от латинского слова «*virtualis*», что означает «что-то, что может или будет происходить при определенных условиях», или процесс, который не существует, но может произойти. Поскольку этот термин встречается во многих областях человеческой деятельности, есть веские основания для его включения в систему образования. Развитие трехмерных сред и возможности интернет-технологий оказали большое влияние на развитие визуальной реальности. В результате виртуальная реальность начала использоваться в различных областях.

Сегодня XXI век – это век высоких технологий, и концепция компьютерной графики неразрывно связана с нашей жизнью.

Все умные люди имеют полное представление о трехмерных изображениях, трехмерной графике и трехмерном моделировании. Когда мы смотрим на современное кинопроизводство, архитектурное проектирование и даже образование, мы можем наблюдать реальные процессы с помощью различных 3D-спецэффектов [3].

В нашем обществе существует множество программных продуктов разных возрастов, таких как 3D-печать, 3D-моделирование, Maya, ZBrush, Blender, 3 D Max.

Появление мультимедии и анимации положило начало новой эре в информационных технологиях. Термин «D» происходит от английского слова «размеры» и означает «размеры». 3D-технология – это самый совершенный в мире метод передачи звука и изображения.

В настоящее время возможно создание трехмерных скульптур, более мелких моделей крупных объектов (автомобилей, самолетов), а также химические модели научных разработок. Для этой цели используются 3D-принтеры (рисунок 1).



Рисунок 1 – Трехмерные 3D-принтеры

3D-принтеры – это «печатные» принтеры, основанные на трехмерных чертежах. Хотя такие разработки в настоящее время осуществляются в стесненных условиях, в ближайшем будущем будет возможно изготовить пару кроссовок, модели неорганических и органических молекул (рисунок 2), лабораторных приборов, или предметы домашнего обихода на 3D-принтере.

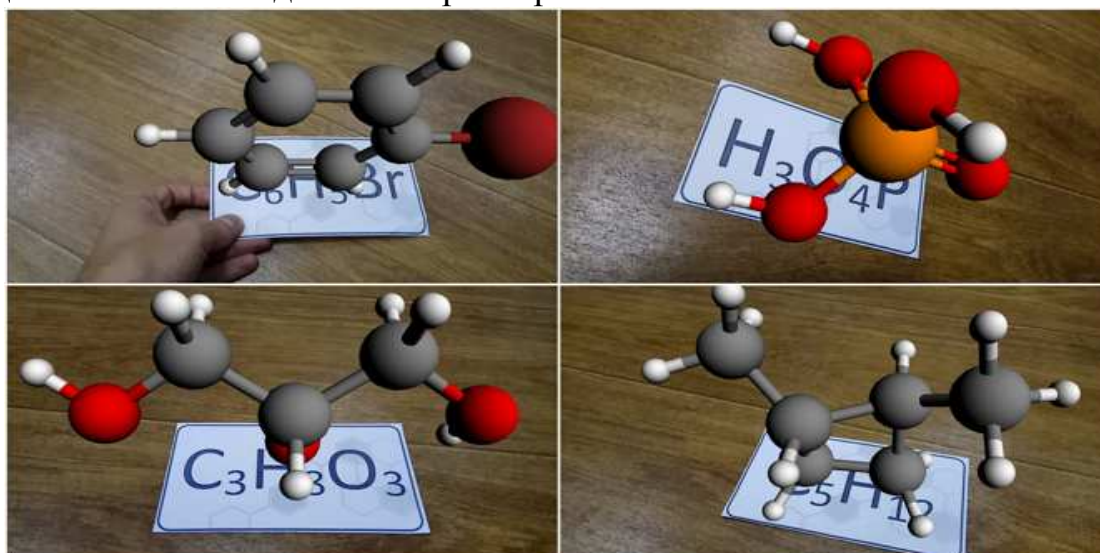


Рисунок 2 – Модели неорганических и органических соединений

Учитывая снижение стоимости 3D-печати, эта технология пользуется большим спросом. В настоящее время Boeing разрабатывает более 200 деталей своего самолета, используя технологию 3D-печати. 3D-принтеры и их продукция:

1) Программа Crocodile Chemistry – вы можете узнать химические и физические свойства всех элементов, содержащихся в таблице Менделеева. Обычно невозможно наблюдать (на молекулярном уровне) процесс, посредством которого молекулы, участвующие в химических реакциях, происходят на молекулярном уровне. С помощью этой программы можно моделировать химические процессы, проводить различные реакции и, самое главное, делать это безопасно [4].

2) В образовании Crocodile Technology – эта программа дает возможность учащимся студентам, учителям использовать современные информационные технологии для углубления раздела «Электрохимия» в курсах теории электрических и электрических

Тот факт, что симуляторы почти не требуют финансовых ресурсов, позволяет студентам проводить сотни и тысячи раз конкретные исследования снова и снова. Еще одним преимуществом использования симуляторов является их безопасность. Симуляторы не имеют барьеров, и даже эти «виртуальные исследовательские» сайты увеличивают скорость развития науки и технологий.

Таким образом, создание среды электронного обучения – виртуального трехмерного пространства в высших учебных заведениях, организация образовательного процесса и повышение качества образования – необходимо для современных химиков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бегимкулов У.Ш. Перспективы создания и развития единого информационного пространства высших учебных заведений // «Народное образование» № 4, 2006. – С. 4-7.

2. Berns A., Gonzalez-Pardo, A., & Camacho, D. (2013). Game-like language learning in 3-D virtual environments. *Computers & Education*, 60(1), 210-220.

3. Соловьев, М.М., Самоучитель по 3ds max :Соловьев, М.М. – М.: Солон-пресс, 2007. – 376 с.

4. Ихтиярова Г.А., Курбаналиева З., Джуракулова Н.Х. Перспективы использования трехмерных виртуальных технологий в химии. Материалы республиканской научно-практической конференции. Ташкент, 16 мая 2019 г. – С. 21-23.

## **АЛГОРИТМ МНОГОУРОВНЕВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ERROR CORRECTING OUTPUT CODES**

В области классификации существует две категории задач: классификация по одной метке (one-label) и классификация по нескольким меткам (multi-label) иногда называемая нечеткая, многолинейная или многозначная. Традиционные двоичные и мультиклассовые классификации являются подкатегориями классификации по одной метке. Многоклассовая и многозначная классификации накладывают различные ограничения на целевую выходную переменную. Для мультиклассовой классификации целевая переменная должна быть одной из заданного набора идентификаторов, называемых классами. Для случая с несколькими метками целевая переменная является подмножеством заданного набора классов. Это означает, что с экземпляром может быть связано более одного класса (в этом контексте, обычно называемого метками) [1].

С целью оптимального использования изображений предлагается модель многоуровневой иерархической классификации на основе сегментации. Объекты изображения представляются в виде сети каскадных структур. Классы и подклассы, определяемые на каждом уровне иерархии, являются результатом выбора различных параметров (классификаторов) [2].

Пример иерархической структуры объектов приведен на рисунке. Здесь идет выделение объектов по классам и подклассам на разных уровнях, так, можно выделить уровень насаждений, уровень вида и т.п.

Используем метод встраивания древовидных структур в структуру классификатора на основе ЕСОС (Error Correcting Output Coding) [3]. В контексте классификации мы кодируем переменную класса с помощью  $n$ -мерного двоичного кодового слова, значения которого указывают, является ли рассматриваемый пример положительным или отрицательным примером в соответствующем двоичном классификаторе.

Построение модели классификации начинается с корня, содержащего все классы. Обнаруживаются узлы, связанные лучше всего с

точки зрения взаимной информации, а процесс повторяется до тех пор, пока не будут получены множества с одним классом. Основным преимуществом метода является то, что при небольшой длине кодового слова он дает хорошую производительность. Дерево строится оптимально по принципу максимальной оценки в каждом узле. В каждой итерации сохраняются лучшие  $n$  разбиений из множества классов. Процесс повторяется итеративно таким образом, чтобы не было повторений классов, и оценка классификатора в каждом узле была оптимальной. Таким образом создается ансамбль оптимальных деревьев и включается в матрицу кода ЕСОС.

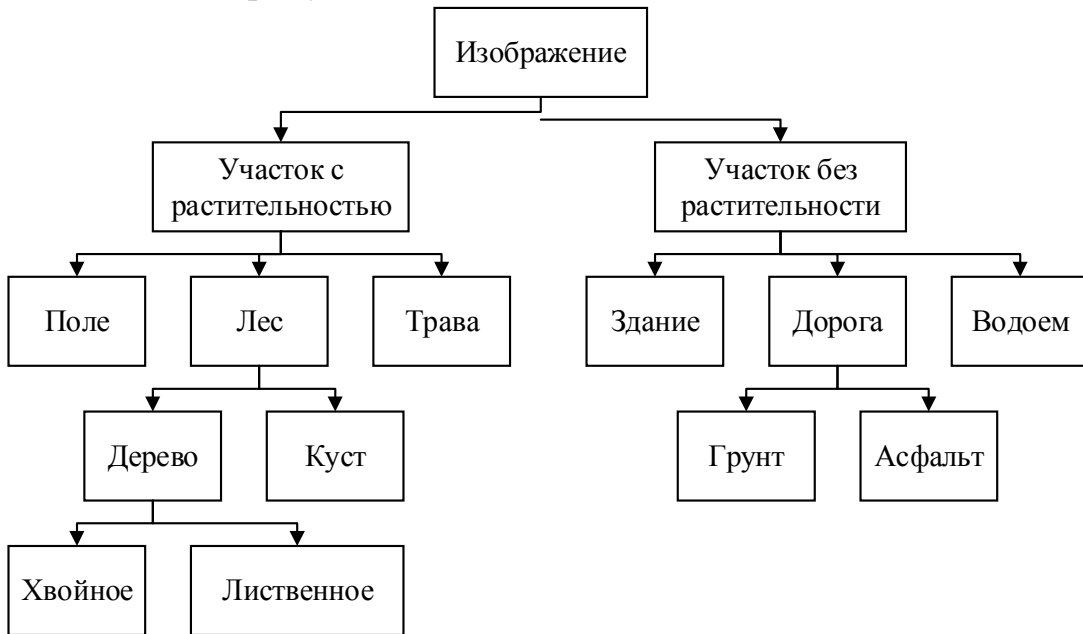


Рисунок – Иерархия объектов классификации

Формально *алгоритм* можно представить следующим образом:

1. Дано  $K$  классов  $c_1, \dots, c_K$  и  $T$  деревьев
2. Интерактивно для каждого  $t = 1 \dots K$ 
  - 2.1 Инициализировать корень начальным множеством классов  $K_0 = \{c_1, \dots, c_K\}$
  - 2.2  $i \leftarrow 0$
  - 2.3 Для каждого узла  $K_i$ 
    - 2.3.1 Выполнить разбиение множества классов  $\{C_1, C_2\} | K_i = C_1 \cup C_2$  на основе классификатора  $f_i$ , таким образом чтобы ошибка обучения была минимальной.
  - 2.4. По выполненному разбиению для каждого узла закодировать каждый столбец матрицы  $M$ :

$$M(r,i) = \begin{cases} 0, c_r \notin K_i \\ +1, c_r \in C_1 \\ -1, c_r \in C_2 \end{cases}$$

где  $r$  индекс класса

2.5  $i \leftarrow i + 1$ . Повторение пункта 2.3

С помощью матрицы многоуровневого ЕСОС, мы получаем вектор. Каждый компонент вектора является результатом решения каждого двоичного классификатора, обученного в каждом из столбцов матрицы. Эта процедура может быть применена при решении задач многозначной классификации, поскольку она объединяет знания различных бинарных задач [4].

Вторым этапом является декодирование. Здесь можно применить любую стратегию декодирования.

Таким образом, общая модель многоуровневой классификации содержит  $N$  компонентных классификаторов и является многоклассовой и многозначной. Информация, предоставляемая классификаторами, представляет ансамбль для получения классификационного прогноза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Dietterich, T. G. and Bakiri, G. Solving multiclass learning problems via error-correcting output codes // Journal of Artificial Intelligence Research, 2007. - №2, p.263– 286.
2. Н.В. Пацей, А.Д. Самаль Алгоритмы многоуровневной классификации объектов// Наука. Технология. Производство – 2019: материалы Международной научнотехнической конференции 15-19 апреля 2019/ редкол.: Н.Г. Евдокимова и др. – Уфа: Изд-во УГНТУ. 2019/ – С.283-284/
3. Diettrich T., Bakiri G. Solving Multiclass Learning Problems via Error-Correcting Output Codes// Journal of Artificial Intelligence Research, 2;263--286, 1995.
4. Литвинович, И. А. Разработка и оптимизация алгоритмов поиска профилей пользователей социальной сети по фотографии / И. А. Литвинович, А. С. Наркевич // Минск : БГТУ , 2020 .- табл. Труды БГТУ, Минск : БГТУ, 2020 (готовится к печати).

### **3D-ROUTING TABLE ALGORITHMS IN SEMANTIC INFORMATION CENTRIC NETWORKING**

Our proposed Semantic routing scheme takes into consideration the four types of data usage [1]. In addition, it can match between publisher knowledge and the subscriber-interested knowledge. Currently, the search engine holds this role. In other words, the whole network will work as a big routing search engine that matches subscriber interest to data, and subscriber interest to publishers. This is done with the help of the three-dimension-naming scheme or 3D-address: Geographical address, User (publisher/subscriber) unique address and Semantic address [2]. That is done in the extremes not in the core.

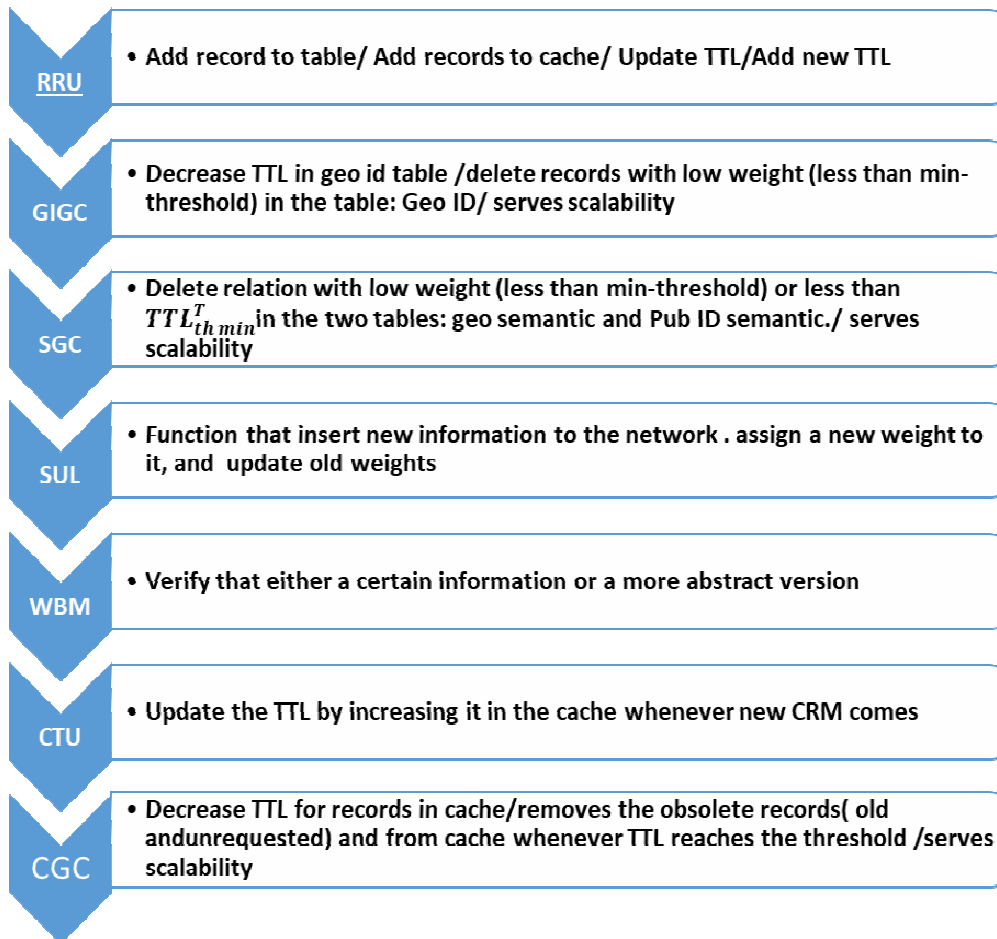
Routers will hold three tables where the three address dimensions' combined in them. The first one is the Semantic- ID connects semantic address to publisher ID address. The second one is the Geo-ID connects publisher ID address and geographical address, and the third table is the Geo-Semantic matches semantic address to geographical address.

These three address dimensions will allow the matching between publisher and subscriber based on naming scheme that includes any publisher ID, semantic or geographical address in the network and designed to include the four types of data and the four types of subscriber's requests. A subscriber interested in one of the three address dimensions can find a match to the other two address dimensions using the proposed routing tables. For example, an interest message containing only a semantic address can easily be matched to the publisher's IDs and their geographical location using these tables. Considering another example where a subscriber having a phone call with a specific publisher ID can follow the geographical location of the publisher using the second table.

Each table includes two parts. The first part, which is the address part (publisher ID, geographical, and semantic addresses) that names the data and are learnt or defined from publisher advertisement. The address part consists of semantic and publisher ID addresses in Semantic- ID table and of publisher ID and geographical addresses in Geo-ID table, and of semantic addresses and geographical addresses, in Geo-Semantic table.

The second part of each table, which is the orientation part (cache (*TTL*) and Interface) that directs the data toward the subscriber, and are learnt from subscriber interest message. The interface are the input output ports, which connects network nodes.

The following algorithms were developed for the proposed routing protocol: update algorithm will add new records, update *TTL* for the record, add records to cache when *TTL* reaches threshold another update algorithm will update the *TTL* in the cache (Figure).



**Figure. Algorithms functions**

In addition, matching algorithm is presented. Moreover, garbage collector algorithm for records in tables (addresses) and caches (data) are presented. Garbage collector algorithm role is to remove the records based on *TTL* thresholds to manage the volume helping in scalability issue.

#### REFERENCES

1 N. Patsei, G. Jaber. Routing Schem for Information-Centric Networking//11th International Conference NEET. Lublin University of Technology, Lublin, Poland, June 25 – 28, 2019 – P.29.

2 Ghassan Jaber, Patsei Natallia Vladimirovna, Fatima Rahal. Different Naming in Information-Centric Networks (ICN) // Scholars Journal of Engineering and Technology, 2019; 7(8). – pp.235-237.



А. В. Кравцевич, магистрант;  
Д. В. Шиман, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Искусственная нейронная сеть - математическая модель, а также ее программное воплощение, работающее на основе принципов биологических нейронных сетей. Искусственные нейронные сети во многом повторяют строение биологических.

Нейронные сети являются одним из наиболее популярных на данный момент алгоритмов для аппроксимации различных функций. Но использование нейронных сетей вызывает следующие проблемы:

- выбор оптимальной с точки зрения вычислительной сложности и точности архитектуры;
- схождение сети в локальном минимуме при обучении.

Генетические алгоритмы, как и нейронные сети, вдохновлены происходящими в природе явлениями. Являясь эвристическими алгоритмами оптимизации, генетические алгоритмы используют комбинирование и изменение исходных параметров, используя механизмы, схожие с механизмами естественного отбора.

Задача, решаемая генетическим алгоритмом, должна быть формализована таким образом, чтобы ее потенциальное решение могло быть закодировано с помощью вектора, также называемого геномом, где каждый ген может быть битом, числом или другим объектом (например, в задаче оптимизации функции отдельными генами могут быть коэффициенты данной функции).

В начале работы алгоритма некоторым, обычно случайным образом, создается популяция - набор геномов. Результативность каждого генома оценивается с помощью фитнес-функции - функции, показывающей, насколько хорошо решение, описанное конкретным геномом, решает задачу.

После оценки для дальнейшего использования отбираются геномы, показавшие наилучший результат. Далее отобранные геномы используются для создания потомства с помощью кроссинговера - процесса обмена генами между геномами. Для обогащения получившегося набора геномов различными вариациями используются мутации, случайно изменяющие некоторые из генов (либо полностью, либо на какой-то процент, если это возможно). В дальнейшем получен-

ная популяция проходит те же шаги снова. Критерием завершения работы генетического алгоритма может быть нахождение оптимального решения, либо превышение порогового количества эпох или времени.

В отличие от алгоритма градиентного спуска, генетические алгоритмы позволяют находить глобальный минимум\максимум функции, так как поиск оптимального решения ведется сразу из множества точек в пространстве возможных решений.

Алгоритм, объединяющий нейронные сети и генетические алгоритмы, позволяют производить поиск сети в пространстве возможных весов и топологий, что позволяет находить наиболее оптимальную сеть для определенной задачи [1].

Тем не менее, нейроэволюционные алгоритмы (например, широко распространенный NEAT) обладают одним большим недостатком - они требуют очень больших вычислительных мощностей и времени для работы [2].

Большое количество живых организмов демонстрирует сложное поведение сразу после рождения - обнаружение хищников, плавание, ходьба, еда. Это показывает, что их биологические нейронные сети способны решать задачи, не требуя обучения - а значит, решение подобных задач может быть заложено в структуре нейронной сети, а не только в весах.

По аналогии с подобным поведением биологических сетей, для оптимизации оптимизации нейроэволюционного алгоритма предлагается использовать поиск топологий нейронных сетей, способных работать при любых значениях весов.

Реализация поиска подобных нейронных сетей позволит избавиться от обучения сетей как такового, что непременно приведет к повышению производительности нейросетевого алгоритма.

Стандартный алгоритм нейроэволюции стремится к поиску наиболее производительной нейронной сети, что непременно приводит к крайне быстрому переусложнению топологии в случае игнорирования весов. Поэтому стандартный генетический алгоритм, оптимизирующий только функцию производительности, был заменен на модифицированную реализацию генетического алгоритма многообъектной оптимизации (NSGA-2), который позволяет искать топологию, одновременно стремясь максимизировать производительность сети и минимизировать ее сложность (количество узлов и связей) [3].

Для оценки производительности отдельной топологии используются следующие шаги:

1. Создается несколько копий топологии;
2. Все веса каждой топологии устанавливаются равными числу из диапазона  $[-2, 2]$ ;
3. Получившиеся сети тестируются на задаче;
4. Результаты работы сетей усредняются и считаются общим результатом работы топологии.

В дальнейшем наиболее производительные топологии собираются вместе, используются для создания потомков, хранящих признаки родителей, а также мутируются для расширения диапазона поиска. Данный цикл повторяется до тех пор, пока не будет найдена топология, удовлетворяющая условиям задачи.

Итогом работы описанного алгоритма является нейронная сеть, одинаково хорошо показывающая себя на схожих задачах. Значения весов могут быть подогнаны под каждую конкретную задачу с помощью метода обратного распространения ошибки на уже найденной оптимальной топологии, что позволяет значительно уменьшить время, требуемое для поиска оптимальной сети.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Representation and evolution of neural networks / Mandischer, M. // *Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms* – 1993. – P. 643 – 649.
2. Evolving neural networks through augmenting topologies / Stanley, K.O. and Miikkulainen, R. // MIT Press. – 2002. – P. 99 – 127.
3. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II / Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. and Meyarivan, T. // *IEEE transactions on evolutionary computation*, Vol 6(2) – 2002. – P. 182 – 197.

## **МЕТОД СРАВНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ, РЕАЛИЗОВАННЫХ НА JAVASCRIPT И WEBASSEMBLY**

В настоящее время существует огромное множество языков программирования. Каждый из них создан для решения определенных задач. Но, порой возникает ситуация, в которой целевая аудитория существующего программного средства растет, а ее потребности изменяются. Разработчикам приходится адаптировать программное средство под новые требования. Иногда, это может быть затратно как по времени, так и по средствам.

Десктопные приложения необходимо скачивать и устанавливать. А web-приложения не требуют от пользователя этого, достаточно просто ввести адрес нужного сайта. Но, что делать разработчикам, если существует web-приложение с большим количеством клиентов, а его производительность недостаточна из-за сложных алгоритмов, которые не могут быть выполнены быстрее с использованием JavaScript?

В качестве цели для данной работы был выбран поиск способа ускорения существующего веб-приложения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать существующие подходы;
2. Выбрать наиболее перспективный подход;
3. Выбрать алгоритмы, которые необходимо испытать;
4. Реализовать выбранные алгоритмы;
5. Сравнить результаты.

Существуют два подхода, которые могут быть использованы для ускорения выполнения JavaScript: `asm.js` и `WebAssembly`.

`asm.js` — это подмножество JS, имеющее более высокую оптимизацию за счет статических типов, которые во время выполнения дают большую производительность.

`WebAssembly` — это бинарный формат инструкций для виртуальной машины, результат компиляции с языка высокого уровня. Поскольку это бинарный формат, он не годится для чтения человеком, зато является наиболее быстрым на этапе выполнения в сравнении с `asm.js`, поскольку более приближен к машинному языку. Таким образом, был выбран `WebAssembly`.

Важно понимать, что WebAssembly — это не язык программирования, а формат данных, и он никак не связан с вебом напрямую, и может быть использован где угодно. WebAssembly может быть получен из многих языков высокого уровня, что позволяет портировать библиотеки из, например, C++.

JavaScript и WASM работают в одном и том же контексте, и исполняются одним и тем же движком. Из WebAssembly можно вызывать JavaScript. Это может быть вызов функции с передачей аргументов и возвратом значения, либо это может быть просто выполнение произвольной строки как JavaScript -кода.

Для проверки быстродействия необходимо выбрать алгоритмы, скорость которых будет измерена. В моем случае выбор был сделан в пользу следующих алгоритмов: MD5, SHA256, SHA512.

Для тестирования времени работы алгоритмов было разработано приложение, позволяющее провести заданное количество испытаний, сгенерировать случайную строку заданной длины, измерить время выполнения алгоритма. Было выбрано 50 длин строк, а для каждой длины по 100 испытаний. Суммарно было проведено 15000 испытаний для трех алгоритмов.

Для MD5 нельзя однозначно сказать, что выигрывает JavaScript или WebAssembly, поскольку на разных длинах строк получены разные результаты.

Для алгоритмов SHA256 и SHA512 ситуация оказалась куда более однозначная: для SHA256 в более чем 50% испытаний победителем оказывался WebAssembly, а согласно усредненным данным, он и вовсе должен быть использован практически во всех случаях, а для SHA512 и более 99% испытаний оказывались выигрышными для WebAssembly.

На основе проведенных испытаний был разработан алгоритм выбора наилучшего пути решения. Он представляет собой функцию, которая принимает 2 параметра: необходимый алгоритм и значение, которое необходимо передать. Данная функция использует результаты, полученные в ходе испытаний, описанных ранее.

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ**

В статье представлен обзор основных способов распознавания образов и на основе анализа предлагается наиболее подходящий, для системы распознавания образов для видеорегистратора.

Признаки Хаара – признаки цифрового изображения, используемые в распознавании образов. Признаки Хаара представляют собой результат сравнения яркости в двух прямоугольных областях.

Признаки Хаара используются для распознавания человеческого лица, так как общим для всех изображений лиц является то, что область в районе глаз темнее, чем область в районе щек. Следовательно, общим признаком Хаара для лиц является два смежных прямоугольных региона, лежащих на глазах и щеках. Главной сильной стороной Признаков Хаара является скорость.

Алгоритм Хафа – алгоритм обнаружения прямых и кривых линий на полутоновых или цветных изображениях. Позволяет указать параметры семейства кривых и обеспечивает поиск на изображении множества кривых заданного семейства.

Для алгоритма Хафа наиболее распространённые параметрические уравнение прямых, имеют вид –  $y = kx + b$  (в декартовых координатах) или в полярных координатах –  $d = x \cdot \cos(\alpha) + y \cdot \sin(\alpha)$ , где  $d$  — длина нормали к прямой, а  $\alpha$  – угол между этой нормалью и осью абсцисс.

Метод Виолы-Джонса – алгоритм, позволяющий обнаруживать объекты на изображениях в реальном времени. Метод был разработан и представлен в 2001 году Полом Виолой и Майклом Джонсом. Метод Виолы-Джонса применяет признаки, опирающиеся на суммирование пикселей из прямоугольных регионов. Напоминает признаки Хаара, но сами признаки используют более одной прямоугольной области.

Метод Виолы-Джонса основывается на методе интегрального представления изображения, что позволяет быстрее вычислять необходимые объекты. Интегральное представление изображения – это матрица, совпадающая по размерам с исходным изображением. В каждом элементе ее хранится сумма интенсивностей всех пикселей, находящихся левее и выше данного элемента.

Среди рассмотренных способов наиболее подходящий метод Виолы-Джонса. Признаки Хаара, хоть и имеют высокую скорость работы, но при повороте объекта сильно ошибается. В алгоритме Хафа сложно выявить признаки искомого объекта, учитывая разнообразие рассматриваемых объектов.

Н. В. Пацей, доц., канд. техн. наук;  
П.И. Карпович, магистрант; С.С. Яромич, магистрант (БГТУ, г. Минск)

## **ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ИМЕНОВАННЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ КОНТЕНТ – ОРИЕНТИРОВАННОЙ СЕТИ**

Основной причиной для разработки контент-ориентированной сетевой архитектуры является, по сути, возрастающая потребность в системах распределения контента различного типа, которые были бы эффективными и масштабируемыми.

Основанная на именах объектов архитектура должна поддерживать такие типы объектов данных, как видео, документы, веб-ресурсы и другие типы информации. Существуют различные модели организации контент-ориентированных сетей (КОС) которые отличаются в деталях, но схожи во многих аспектах функциональности и архитектурных особенностях [1]. Основные задачи разработки и исследования таких архитектур - увеличение производительности распределения и поиска информации, а также снижение задержек и сбоев [2]. Связь в КОС инициируется приемниками, которые запрашивают именованные объекты данных (name data object - NDO). Отправители, с другой стороны, предоставляют необходимые NDO для получателей посредством публикации объектов. КОС может идентифицировать запросы пользователей и имеет независимую от приложений систему кэширования.

Не сегодняшний день не существует рабочей модели КОС. Для решения проблем масштабируемости, управления и безопасности предлагается информационно-аналитическая модель управления именованными динамическими объектами в контент-ориентированных сетях. Данная модель позволит уменьшить количество посредников между информационными объектами и конечными пользователями, снизит избыточность и увеличит скорость трафика передачи для разных типов данных.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ghassan Jaber, Patsei Natallia Vladimirovna, Fatima Rahal. A Survey: Routing Schemes in Information-Centric Networks (ICN) // Scholars Journal of Engineering and Technology, 2019; 7(8). –pp. 229-234.
2. Y. Navrotsky, N. Patsei Caching Control And Optimization In Information-Content Networks // 2019 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream): Proceedings of the Conference : April 25, 2019, Vilnius, Lithuania, . IEEE -2019. – p.70-74.

## УЯЗВИМОСТИ И УГРОЗЫ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Использование мобильных устройств растет. Компания Ericsson прогнозирует, что к середине 2020 году в мире будет более шести миллиардов пользователей смартфонов

Мобильные устройства прочно вошли в нашу жизнь: мессенджеры, банкинг, бизнес-приложения, личные кабинеты сотовых операторов – при современном ритме жизни мы используем эти приложения практически ежедневно. Согласно данным, общее число пользователей мобильных банковских приложений приближается к двум миллиардам, что составляет порядка 40% всего взрослого населения.

В сентябре 2018 года из официального магазина приложений было изъято 40 программ, поскольку они были заражены XcodeGhost, вредоносным ПО, предназначенным для превращения устройств Apple в крупномасштабную бот-сеть. Несмотря на хвалебную защиту Apple, вредоносная программа не только пробиралась сквозь нее, но и накладывалась поверх легитимных приложений, что затрудняло ее обнаружение.

Приложения для мобильных устройств можно классифицировать по множеству критериев, но в контексте безопасности приложений нас интересуют следующие: по месту расположения приложения и по типу используемой технологии передачи данных.

По месту расположения приложения:

- SIM-приложения – приложение на SIM-карте, написанное в соответствии со стандартом SIM Application Toolkit (STK);
- Web-приложения – специальная версия Web-сайта;
- мобильные приложения – приложения, разработанные для определенной мобильной ОС.

По типу используемой технологии взаимодействия с сервером:

- Сетевые приложения – используют собственный протокол общения поверх TCP/IP, например HTTP;
- SMS-приложения – приложения на основе SMS (Short Messaging Service);
- Приложение обменивается с сервером информацией с помощью коротких текстовых сообщений;
- USSD-приложения – приложения на основе USSD (Unstructured Supplementary Service Data). Сервис основывается на передаче коротких сообщений, схожих с SMS, но имеет ряд отличий;



○ IVR-приложения – приложения, базирующиеся на технологии IVR (Interactive Voice Response). Система основана на заранее записанных голосовых сообщениях и тональном наборе.

Именно приложения, разработанные для определенной мобильной ОС с использованием специализированного API сейчас наиболее распространены, так как полностью используют возможности мобильного устройства.

Были выявлены типовые угрозы для мобильных приложений включающие в себя:

- Секретные данные в открытом виде;
- Небезопасные каналы передачи информации;
- Наличие отладочного кода;
- Внедрение SQL-операторов;
- Межсайтовый скриптинг (XSS);
- Отсутствие проверок входящих данных;
- Неправильная расстановка прав доступа;
- Слабая криптография.

Самые популярные типы вредоносное ПО для мобильных устройств:

• **Вредоносное банковское ПО:** Как отмечает Dark Reading, количество вредоносных мобильных программ, нацеленных на сервисы онлайн-банкинга растет: хакеры стремятся скомпрометировать пользователей, которые предпочитают вести свой бизнес, в том числе совершать денежные переводы и платежи, с мобильных устройств.

• **Мобильные программы-вымогатели:** изначально созданные для ПК, программы-вымогатели «блокируют» важные данные пользователя, такие как документы, фотографии и видео, зашифровывали эту информацию, а затем требуют выкуп за ее расшифровку. Если выкуп не выплачивается вовремя все файлы удаляются или просто блокируются и навсегда становятся недоступными для пользователя.

• **Мобильное шпионское ПО** загружается на ваше устройство как программа, отслеживает вашу активность, регистрирует ваше местоположение и изучает важную информацию, такую как имена пользователей и пароли к аккаунтам электронной почты или сайтам онлайн магазинов. Во многих случаях шпионское ПО поставляется вместе с другими считающимися безопасными программами и спокойно собирает данные в фоновом режиме. Вы даже можете не замечать его присутствия до тех пор, пока не снизится производительность устройства, или вы не запускаете на планшете или смартфоне антивирусную проверку.

- **Вредоносное ПО, передающееся через MMS:** производители вредоносных программ ищут способы использования текстовой коммуникации как способа доставки вредоносного ПО. Даже если пользователи не открывали вложение или не читали текст, вредоносное ПО все равно разворачивалось на устройстве и давало хакерам доступ к вашему смартфону.

- **Мобильное рекламное ПО:** рекламное ПО в своем развитии шагнуло далеко вперед от надоедливых всплывающих окон и простого сбора данных. Доход многих создателей рекламы зависит от количества кликов и загрузок.

- **SMS-троянцы:** киберпреступники заражают мобильные устройства, охотясь за тем, что пользователи больше всего любят в своих телефонах – текстовыми сообщениями. SMS-троянцы устраивают настоящий финансовый хаос, отправляя SMS-сообщения на премиум-номера по всему миру, в разы увеличивая телефонные счета пользователей.

Методика аудита безопасности клиентской части мобильного приложения, разработанная исследовательским центром Digital Security, основана на опыте анализа защищенности различных по функциональности и сложности приложений, таких как ERP-системы, автоматизированные банковские системы, банк-клиенты, веб-приложения, системы управления базами данных и др.

Процесс анализа приложения состоит из нескольких базовых этапов:

- Анализ архитектуры клиентской части приложения;
- Составление модели угроз;
- Аудит безопасности кода;
- Стресс-тестирование (fuzzing);
- Реализация угроз в соответствии с логикой приложения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Positive Technologies [Электронный ресурс] // Positive Technologies. – 2003-2020. – Режим доступа: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/mobile-application-security-threats-and-vulnerabilities-2019/>. – Дата доступа: 25.01.2020.

2. ПРОЕКТ "ИТ-ЗАЩИТА" [Электронный ресурс] // ИТ безопасность. – 2003-2020. – Режим доступа: <http://itzashita.ru/mobilnyie-ustroystva/problemyi-bezopasnosti-mobilnyih-ustroystv-sistem-i-prilozheniy-chast-5.html>. – Дата доступа: 05.01.2020.

## **АЛГОРИТМЫ И МЕТОДЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАНИЙ МЕЖДУ НЕСКОЛЬКИМИ СЕРВЕРАМИ**

Вопрос о планировании нагрузки следует решать в начале разработки любого веб-проекта. «Падение» сервера может привести к серьёзными последствиями. Первоначально проблемы недостаточной производительности сервера в связи с ростом нагрузок можно решать путем наращивания производительности сервера, или же оптимизацией кода. Но рано или поздно наступает момент, когда и эти меры оказываются недостаточными[1].

Приходится прибегать к кластеризации: несколько серверов объединяются в кластер и нагрузка между ними распределяется при помощи комплекса специальных методов, называемых балансировкой. Балансировка нагрузки может осуществляться при помощи как аппаратных, так и программных инструментов.

Процедура балансировки осуществляется при помощи целого комплекса алгоритмов и методов, соответствующим следующим уровням модели OSI:

- Сетевому. Балансировка на сетевом уровне предполагает решение следующей задачи: нужно сделать так, чтобы за один конкретный IP-адрес сервера отвечали разные физические машины(DNS-балансировка: на одно доменное имя выделяется несколько IP-адресов. Сервер, на который будет направлен клиентский запрос, обычно определяется с помощью алгоритма Round Robin; балансировка по территориальному признаку: осуществляется путём размещения одинаковых сервисов с одинаковыми адресами в территориально различных регионах Интернета);

- Транспортному. Этот вид балансировки является самым простым: клиент обращается к балансировщику, тот перенаправляет запрос одному из серверов, который и будет его обрабатывать.

- Прикладному. При балансировке на прикладном уровне балансировщик работает в режиме «умного прокси». Он анализирует клиентские запросы и перенаправляет их на разные серверы в зависимости от характера запрашиваемого контента.

В числе целей, для достижения которых используется балансировка, нужно выделить следующие:

- справедливость: нужно гарантировать, чтобы на обработку каждого запроса выделялись системные ресурсы и не допустить возникновения ситуаций, когда один запрос обрабатывается, а все остальные ждут своей очереди;
- эффективность: все серверы, которые обрабатывают запросы, должны быть заняты на 100%; желательно не допускать ситуации, когда один из серверов простаивает в ожидании запросов на обработку (сразу же оговоримся, что в реальной практике эта цель достигается далеко не всегда);
- сокращение времени выполнения запроса: нужно обеспечить минимальное время между началом обработки запроса (или его постановкой в очередь на обработку) и его завершения;
- сокращение времени отклика: нужно минимизировать время ответа на запрос пользователя;
- предсказуемость: нужно четко понимать, в каких ситуациях и при каких нагрузках алгоритм будет наиболее эффективным, чтобы решить необходимые задачи;
- равномерная загрузка ресурсов системы;
- масштабируемость: алгоритм должен позволять масштабировать кластеризованную систему в случае, когда будет добавлено несколько новых серверов для обработки запросов.

Алгоритм Round robin[2], или алгоритм кругового обслуживания, представляет собой перебор по круговому циклу: первый запрос передаётся одному серверу, затем следующий запрос передаётся другому и так до достижения последнего сервера, а затем всё начинается сначала.

Алгоритм Weighted round robin — усовершенствованная версия алгоритма round robin. Суть усовершенствований заключается в следующем: каждому серверу присваивается весовой коэффициент в соответствии с его производительностью и мощностью. Это помогает распределять нагрузку более гибко: серверы с большим весом обрабатывают больше запросов. Однако всех проблем с отказоустойчивостью это отнюдь не решает. Более эффективную балансировку обеспечивают другие методы, в которых при планировании и распределении нагрузки учитывается большее количество параметров.

Рассмотрим практический пример. Имеется два сервера — обозначим их условно как А и Б. К серверу А подключено меньше пользователей, чем к серверу Б. При этом сервер А оказывается более перегруженным. Как это возможно? Ответ достаточно прост: подключения к серверу А поддерживаются в течение более длительного времени

по сравнению с подключениями к серверу Б.

Описанную проблему можно решить с помощью алгоритма, известного под названием *least connections*[3]. Он учитывает количество подключений, поддерживаемых серверами в текущий момент времени. Каждый следующий вопрос передаётся серверу с наименьшим количеством активных подключений.

Также, как и для *round robin* существует усовершенствованный вариант алгоритма *least connection*, предназначенный в первую очередь для использования в кластерах, состоящих из серверов с разной производительностью. Он называется *Weighted Least Connections* и учитывает при распределении нагрузки не только количество активных подключений, но и весовой коэффициент серверов.

*Sticky Sessions*[4] — алгоритм распределения входящих запросов, при котором соединения передаются на один и тот же сервер группы. Сессии пользователя могут быть закреплены за конкретным сервером. С помощью этого метода запросы распределяются по серверам на основе IP-адреса клиента. Применение этого метода сопряжено с возникновением проблемы привязки сессий могут возникнуть, если клиент использует динамический IP. В ситуации, когда большое количество запросов проходит через один прокси-сервер, балансировку вряд ли можно назвать эффективной и справедливой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Что такое балансировка нагрузки [Электронный ресурс] / 8host.com. – Режим доступа: <https://www.8host.com/blog/chto-takoe-balansirovka-nagruzki/> – Дата доступа: 19.01.2020.

2. Round Robin Scheduling - Wikipedia [Электронный ресурс] / wikipedia.org. – Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Round-robin\\_scheduling](https://en.wikipedia.org/wiki/Round-robin_scheduling) – Дата доступа: 20.01.2020.

3. Least connection is not least loaded [Электронный ресурс] / devcentral.f5.com – Режим доступа: <https://devcentral.f5.com/s/articles/back-to-basics-least-connections-is-not-least-loaded> – Дата доступа: 22.01.2020.

4. Sticky session [Электронный ресурс] / imperva.com. – Режим доступа: <https://www.imperva.com/learn/availability/sticky-session-persistence-and-cookies/> – Дата доступа: 25.01.2020.

## **ПРОБЛЕМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ**

Космическая съемка – процесс получения данных электромагнитного спектра с помощью спутников, космических аппаратов и т.д. Космический снимок – визуализированные данные космической съёмки. Область применения космически снимков довольно обширна и включает в себя такие сферы деятельности как: сельское хозяйство, строительство, военная сфера, прогнозирование природных явлений, экологические последствия деятельности человека и т. д.

Процесс обнаружения объектов космической съемки по сути мало чем отличается от подобного процесса на обычной фотографии. Тем не менее, существуют факторы значительно затрудняющие данную задачу. Например, различные атмосферные явления могут искажать имеющиеся данные, что в последствии может пагубно сказаться на качестве детектирования. Однако существует ряд методов коррекции, которые помогают нивелировать неточности космических снимков.

Для устранения искажений, связанных с особенностью движения космического аппарата, используется метод ортокоррекции [1]. При этом методе изображение приводится к проекции, когда каждая точка местности наблюдается строго вертикально. Чтобы произвести ортокоррекцию, необходимо знать геометрию датчика в момент регистрации, а также иметь представление о рельефе. Применять данный метод стоит, когда важна точность и измерительные свойства изображения.

Атмосферная коррекция может проводится большим количеством алгоритмов. Одним из таких является метод Dark Object Subtraction. Для корректной работы алгоритмов могут понадобиться такие данные как: оптическая толщина атмосферы, расположение Солнца и датчика в момент регистрации, атмосферная модель, коэффициент поверхностного отражения.

Детектирование объектов, размер которых значительно меньше пикселя, производится с помощью метода спектрального разделения. Смешанные спектры космического снимка сравнивают с чистыми спектрами конкретных известных материалов и элементов. Далее сравнивается соотношение чистого спектра и примесей в каждом пикселе [2]. В результате спектрального разделения можно получить изо-

бражение, в котором цвет каждого пикселя будет означать преобладающий элемент в спектре пикселя.

Вышеописанные методы и технологии повсеместно применяются на практике в текущий момент. Современное оборудование на космических аппаратах становится точнее, что позволяет корректировать снимки, максимально приближая их к тому, что мы видим невооружённым глазом рядом с нами. На данный момент существуют спутники, которые несут оборудование, способное записывать короткие видеоролики и, несомненно, с таким уровнем и темпом развития технологий, проблемы, связанные с детектированием объектов, будут решаться точнее и качественнее.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Словарь терминов. Журнал Геоматика, 2009, №2. С. 119
2. Xavier Ceamanos, Silvia Valero, Processing Hyperspectral Images in Optical Remote Sensing of Land Surface, 2016.

УДК 004.4'41

А.С. Наркевич, ст. преп.; В.О. Станкевич  
(БГТУ, г. Минск)

#### ПРИНЦИП РАБОТЫ JIT-КОМПИЛЯТОРА ВЫРАЖЕНИЙ

Динамическая JIT компиляция является одной из важнейших технологий увеличения производительности программных систем, использующих байт-код. Суть данной технологии заключается в генерации машинных команд "на лету" и их выполнения.

Язык SVO-2019 использует сентенциальную парадигму программирования, которая подразумевает наличие шаблонов, подставляемые inline. В данном языке JIT компиляция затрагивает только выражения, содержащие хотя бы одну арифметическую операцию, результатом которой будет присвоен значению некоторой переменной. Когда компилятор видит такое выражение – он записывает определенную команду байт-кода, которая сигнализирует, что возвращенное значение скомпилированной процедуры будет присвоено переменной с некоторым адресом в памяти с заданным размером. В разработанном языке программирования три таких команды, которые отличаются размером целевой переменной (1, 2 или 4 байт).

Пример байт-кода:

CC 04 00 0B 08 00 0B 0C 00 01 00 00 32 00 00.

В нем команда "CC" запускает функцию, в которой генерирует-

ся указатель на функцию, возвращающую целочисленное значение. В этой же функции вызывается функция "compile", которая будет осуществлять JIT-компиляцию последующих команд, т.е. их номера будут соответствовать особым функциям, заполняющим вектор машинными командами. Команда "0B" помещает в стек значения переменных, находящихся в выделенной памяти со смещением 8 и 12 байт соответственно. Команда "01" складывает 2 значения, хранящиеся в стеке, а команда с номером "32" завершает JIT-компиляцию и возвращает значение вычисленного выражения. Для выделения блока памяти, в который записываем машинные команды и защиты этого блока как исполняемого, используются API-функции библиотеки <memoryapi.h> (автоматически подключается из <windows.h>). На этом работа функции "compile" заканчивается, а результатом её выполнения является указатель (void\*) на блок памяти в котором хранится исполняемый код. После чего данный код вызывается и возвращает значение, которое сохраняется в целевой переменной. Память, выделенная под функцию, освобождается, и управление передается интерпретатору.

Всего в работе реализовано 15 функций-генераторов машинных команд.

УДК 519.6

А.И. Парамонов, канд. техн. наук, доц.;  
А.В. Олеферович, ассист.  
(БГТУ, г. Минск)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРВИСА GOOGLE CLASS ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

Современные тенденции образовательных процессов предполагают активное использование ресурсов сети Интернет. В этом направлении активно работают не только ведущие образовательные центры, создавая платформы по дистанционному образованию, но и коммерческие организации. В частности, компания Google предложила свое решение «Google Class» для организации работы преподавателя с группой обучающихся.

Подобные ресурсы без сомнения являются хорошим подспорьем для организации удаленной работы со студентами. Однако, при выборе ресурсов следует учитывать их возможности.

Использование сервиса «Google Class» также имеет свои нюансы. В первую очередь следует отметить, что данный продукт



имеет тесную интеграцию со многими другими сервисами Google, такими как Календарь, Google Disk, Почтовые сервисы и другие.

В современном ИТ секторе трудно найти пользователей, которые не обращаются к сервисам Гугл, Google охватывает большое число компьютеров. А это открывает для сервиса «Google Class» огромные возможности по обмену данными и контролю за исполнением заданий.

Таким образом, можно выделить следующие преимущества в использовании сервиса:

- размещение всей информации по курсу онлайн в облаке с постоянным доступом;
- интеграция с Календарем позволяет установить сроки исполнения заданий в виде напоминаний;
- оперативное информирование о событиях на курсе (новые материалы, изменения в планах, объявления и прочее) путем рассылки оповещений;
- ограничение доступа к ресурсам и возможность открывать материалы только отдельным слушателям;
- информирование преподавателя о поступивших вопросах по курсу или сданных заданиях.

Однако, следует упомянуть и про такую особенность использования «Google Class» как необходимость постоянного доступа к сети Интернет: отсутствие возможности работы в оффлайн. К тому же, просмотр выполненных заданий студентов предпочтительно выполнять также в сети Интернет, поскольку отправленные на проверку файлы сохраняются на Google Disk под исходными именами, которые зачастую не отражают в своем названии ни сути работы, ни ее авторства. А значит возникает неудобство в момент выгрузки работ на локальный компьютер в виде идентификации и переименования работ, что может отнимать много времени преподавателя. Т.е. предполагается некоторая культура в работе с системой со стороны студентов.

Еще одним "неудобством" сервиса можно назвать ориентацию на небольшие цельные группы. Поскольку работать с большими аудиториями, которые могут предполагать разбиение на подгруппы, в сервисе не предусмотрено.

Обобщая опыт использования сервиса, можно сказать, что это вполне удобный ресурс для организации доступа студентов к дополнительной информации по курсу. Использование же обратной связи (проверку работ студентов) возможно организовать только в небольших группах без деления на подгруппы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В.И. Педагогическое управление самостоятельное работы студентов на современном этапе. Методические рекомендации для преподавателей / В.И. Андреев, Ф.Л. Ратнер, М.А. Верещагин. – Казань: КГУ им. В.И Ульянова-Ленина, 2003.
2. Пушкина, Г. Г. Самостоятельная работа студентов вуза: компетентностный подход и внедрение интернет-технологий / Г. Г. Пушкина // Гуманитарные науки. 2011. № 3 – С. 94-100.
3. For education [Электронный ресурс] // Manage teaching and learning with Classroom. – 2003-2020. – Режим доступа: <https://edu.google.com/products/classroom/>. – Дата доступа: 25.01.2020.

УДК 004.021

А.С. Наркевич, ст. преп.;  
И.А. Литвинович, магистрант  
(БГТУ, г. Минск)

### **МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПОИСКА ПРОФИЛЕЙ ПО ФОТОГРАФИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ**

В рамках исследовательской работы по изучению и разработке алгоритмов и методов оптимизации поиска профилей в социальных сетях, были исследованы существующие методы обхода пользовательских профилей и выполнен их анализ.

Была проведена оптимизация алгоритма обхода пользовательских профилей при поиске. В ходе проведения опытов лидером оказался подход с использованием социального графа, как структуры, позволяющей производить обход максимально эффективно. В социальном графе вершинами являются профили пользователей определенной социальной сети, а ребрами – социальные связи, например, общие друзья или группы в социальной сети с любимыми фильмами.

В ходе исследований в качестве основного был рассмотрен подход итеративного обхода всех профилей, основной смысл которого в последовательном переборе всех существующих объектов в базе данных. При использовании данного подхода среднее время поиска доходило до 10 минут и количество пройденных пользователей приближалось к одному миллиону даже при условии близких социальных связей искомого профиля с ищущим.

При использовании социального графа для обхода пользовательских профилей был достигнут прирост в скорости в десятки раз и

составил в среднем тысячу пользователей при учете близких социальных связей. Для сравнения скорости и эффективности, алгоритмы запускались в одинаковых условиях по 1000 раз на объеме данных в один миллион профилей.

Ближкие социальные связи включают в себя людей, которые:

- живут в одном городе;
- работаю на одном предприятии;
- учатся в одном университете;
- имеют общие интересы (например, музыкальные).

У таких пользователей более вероятно наличие общих друзей благодаря чему использование социального графа и достигает столь хороших результатов.

Недостатки подхода, которые были выявлены в результате исследования, включают в себя:

- большое время поиска профилей, находящихся в небольшом количестве социальных групп;
- невозможность поиска профилей не имеющих друзей, города, групп.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Литвинович, И. А. Алгоритмы и подходы к обработке профилей социальной сети при поиске по фотографии / И. А. Литвинович, А. С. Наркевич // Информационные технологии : материалы 83-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 4-15 февраля 2019 г. / отв. за изд. И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск : БГТУ, 2019. – С. 50.

2. Литвинович, И. А. Алгоритмы и подходы к определению принадлежности профиля в социальной сети / И. А. Литвинович // 70-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов, 15-20 апреля 2019 г., Минск : сборник научных работ : в 4 ч. Ч. 4. - Минск : БГТУ, 2019. - С. 315-317.

## **ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ БУМАЖНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ**

Стремительное развитие информационных технологий предполагает цифровую трансформацию многих процессов жизнедеятельности людей, в том числе и образовательных процессов. Неотъемлемой частью обучения является методика оценки знаний обучаемых. В числе зарекомендовавших себя подходов следует выделить такую форму как тестирование. Несмотря на то, что известны и широко применяются системы компьютерного тестирования, в некоторых случаях возникает потребность в проведении бумажного тестирования. Следует отметить, что такой вид оценки знаний характеризуется двумя основными проблемами: низкой скоростью проверки работ и отсутствие анонимности (это может повлечь субъективную оценку). Поскольку экзаменатор имеет «прямой» доступ к работе и ему известно ее авторство, то он может вносить в нее корректировки или недостаточно объективно оценить. Предпринимаются попытки исправить проблему анонимности за счет введения промежуточного этапа «шифровки/дешифровки» работ третьим лицом (такая схема часто реализована в приемных комиссиях учебных заведений). Однако таким образом усугубляется проблема скорости обработки – значительно увеличивается срок проверки.

В работе предлагается решение по автоматизации проведения «бумажных» экзаменационных испытаний на основе применения технологии шифрования QR-кодов [1]. В зависимости от вида испытания имеется возможность применения двух подходов: для «чистого» тестирования и для контроля с «открытыми» вопросами. Первый вид предполагает, что испытуемый выбирает на каждый вопрос один из доступных вариантов ответа. В таком случае возможно организовать заполнение учащимся специальной сетки ответов. Роль экзаменатора здесь пассивна (может быть заменена ролью менеджера), а использование программного обеспечения предполагает автоматизацию процедуры сопоставления ответов с эталонными [2].

Второй подход предполагает, что испытуемый должен самостоятельно указать ответ – например, указать число или дать определение. В таком случае экзаменатор активно участвует в проверке работы, а программное обеспечение используется для непрерывного шифрования работы и автоматического составления ведомости проверки. Алгоритм проведения экзамена в случае с открытыми вопросами можно записать следующим образом:

- для каждого испытуемого создается QR-код (шифруются его

идентификационные данные);

- генерируется билет в заданном формате – добавляется специальный блок, в котором содержится QR-код испытуемого, а рядом форматное поле для выставления результата проверки; - учащийся отвечает на вопросы на бланке (без указания своих персональных данных);

- экзаменатор проверяет зашифрованную работу и установленное поле заносит оценку;

- ответы считываются с помощью сканера, либо с помощью камеры на смартфоне;

- специальное программное обеспечение распознает QR-код и выставленную оценку работы;

- результаты заносятся в базу данных и обновляется итоговый протокол экзамена.

Для генерации билетов в формате pdf можно воспользоваться библиотекой IronPDF [3]. Для считывания QR-кода используется открытая библиотека ZXing [4]. При распознавании оценки на билете может быть использован один из известных методов распознавания образов: структурные, статистические, классификаторы, нейронные сети и т.п. [5, 6]. В приложении реализован структурный метод. Для его работы необходимо чтобы цифры были начертаны по заданному шаблону. Предлагается использовать семисегментный индикатор.

Проведенные испытания обоих подходов показали возможность обеспечения обезличивания работ при проверке и значительного сокращения времени на их проверку.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. What is a QR Code? DENSO WAVE Corp. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.qrcode.com/en/about/>

2. Парамонов А.И., Харлов А.А. Программное обеспечение для автоматизации проведения бумажного тестирования / Вычислительные методы, модели и образовательные технологии: сб. материалов VIII международной научно-практической конференции (Брест, 18.10.2019). – Брест: БрГУ им. А.С. Пушкина, 2019. – С. 188-190.

3. The C# PDF Library [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ironpdf.com/>

4. ZXing ("Zebra Crossing") barcode scanning library for Java, Android [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/zxing/zxing/>

5. Гонсалес Р. «Цифровая обработка изображений» / Р. Гонсалес., Р. Вудс. - М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.

Bai X. «Structural, Syntactic, and Statistical Pattern Recognition» / X. Bai, E. Hancock, T. Ho, R. Wilson, B. Biggio, A. Robles-Kelly. – М.: Springer, 2018. – 525 с.

## **ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ КЛАССОВ**

В современном мире в организациях активно используется большое число программных продуктов, непосредственно участвующих в бизнес процессах этих компаний. Как правило, стоимость сопровождения этого программного обеспечения (ПО) составляет порядка 70...80 % от общей стоимости работ в его жизненном цикле (ЖЦ) и влияет на совокупную стоимость владения информационными системами. Решение вопросов снижения совокупной стоимости владения программным обеспечением, управления качеством в жизненном цикле ПО является в настоящее время актуальным и лежит в сфере решения проблем программной инженерии.

Необходимо развитие новых методов, методик и инструментов для повышения эффективности труда специалистов, сопровождающих и эксплуатирующих ПО и снижения общей стоимости их работ.

Данное утверждение является актуальным и для учебных заведений, где при проведении занятий по информационным технологиям можно увидеть разноплановое ПО, что мешает качественной подготовке обучающихся.

Нередко в учебных аудиториях можно встретить недостаточно продуманное программное обеспечение: на разных компьютерах установлено одно и то же приложение разных версий или вообще не установлено, не выполнены настройки ПО. Такая ситуация зачастую приводит к срыву занятия. Это, как правило, и вызывает нарекание обучающихся и преподавательского состава [1].

Процесс сопровождения ПО можно рассматривать с позиций модели услуг, предусмотренной в ITSM (Information technology–Service management) [2].

На основании методологии ITIL (Service Support, Service Delivery, Application Management) при построении каталога ИТ-услуг для бизнес-сервиса «Обеспечение работы учебных компьютерных классов» будем рассматривать поддержку базового и дополнительного ПО.

Для реализации данной услуги предлагается воспользоваться технологией VMware Horizon View, которая позволяет создать набор «золотых образов» операционной системы и установленного унифици-

цированного ПО, которые будут служить прототипом студенческих машин с учетом различных направлений специализации обучающихся. Из этих образов формируются связанные с ними виртуальные машины (виртуальные рабочие столы) для каждого студента. Добавление нового ПО или обновление имеющегося в «золотом образе» влечет за собой изменения в виртуальных машинах пользователей [3].

«Золотой образ» хранится в облаке и доступен обучающимся в учебной аудитории, так и из вне.

Обслуживание «золотого образа» можно перевести на аутсорсинг с использованием облачных технологий, что повысит качество предоставляемых ИТ-услуг и значительно уменьшит затраты на обслуживание информационных технологий. При этом надо учитывать, что переход к аутсорсингу можно считать целесообразным, если учебное заведение приобретает при этом определенные конкурентные преимущества и достигает поставленных целей.

Использование «золотого образа» позволит значительно снизить совокупную стоимость владения программным обеспечением и повысит качество предоставляемых образовательных услуг.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Юрча, И. А. Повышение качества обслуживания компьютерных классов / И. А. Юрча, Ж. И. Щербович // Эпоха науки. – Ачинск, 2019. – № 20. – С. 502-508.

2. Общие сведения о библиотеке ITIL [Электронный ресурс] // НОУ «Интуит». – 2003-2019. – Режим доступа: <https://www.intuit.ru/studies/courses/964/260/lecture/6640>. – Дата доступа: 05.07.2019.

3. Щербович, Ж. И. Использование VMWARE HORIZON VIEW в учебном процессе / Ж. И. Щербович, И. А. Юрча // Управление информационными ресурсами: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12 декабря 2014 г. / Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь; редкол.: А.В. Ивановский [и др.]. – Минск, 2014. – С. 292-294.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЕТЕНЦИЙ

Прежде чем осуществлять процесс выработки важных для инновационной экономики компетенций сотрудников (работников, студентов), следует обозначить ключевые компетенции или группы компетенций, т.е. сформировать требования и провести их оценку. Причем оценку компетенций нужно осуществлять не только при приеме на работу, но и через определенный период времени для определения роста профессиональной компетентности работников предприятия и формирования планов и программ развития их кадрового потенциала [1].

Оценка компетенций основана на использовании двух подходов: атрибутивного, опирающегося на определение и оценку личностных качеств и характеристик; и практического, опирающегося на оценку компетентности по уровню профессионального соответствия практическим результатам деятельности [2].

В Академии управления при Президенте Республики Беларусь разработана информационная система многокритериальной оценки компетенций специалистов и студентов.

Логика работы функционала системы проста, а сложность алгоритмов обработки оценок на пользовательских функциях не отражается. Самым, пожалуй, трудным в создании инструментария для конкретной группы тестируемых является разработка перечня компетенций и их индикаторов. Для того, чтобы система оценки работала корректно, все понятия и описания поведения (индикаторы) должны соответствовать реалиям поведения аттестуемых.

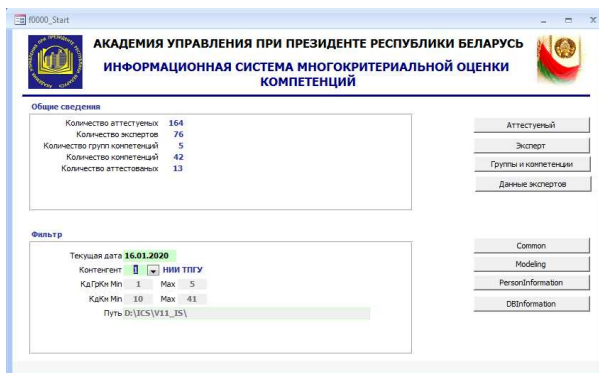
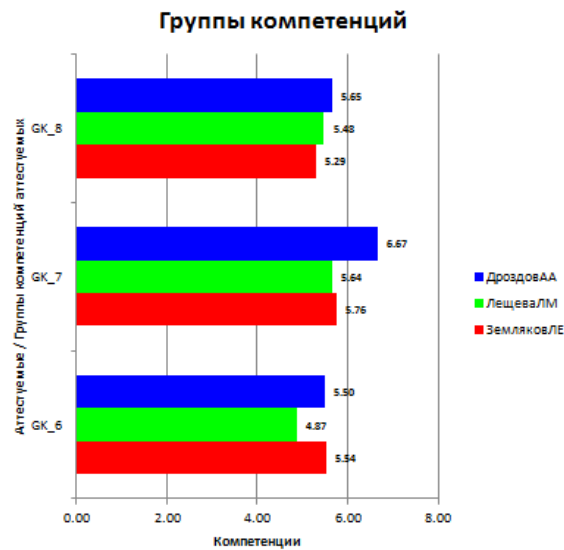
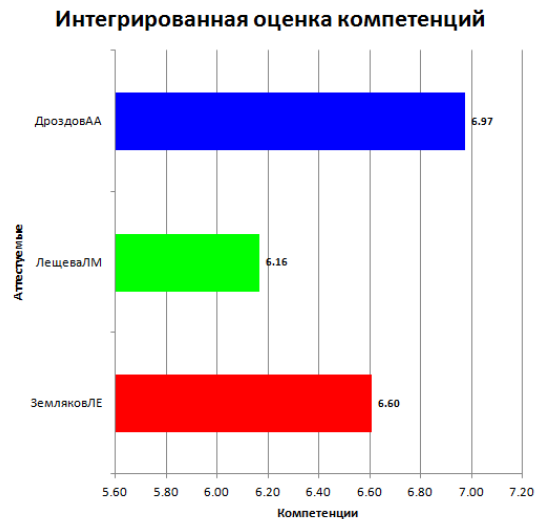


Рисунок 1 – Главная форма информационной системы





**Рисунок 2 – Оценка компетенций специалистов по группам**



**Рисунок 3 – Интегрированная оценка компетенций специалистов**

На рисунке 1 представлен главный интерфейс системы, на рисунке 2 результаты оценки компетенций по группам компетенций и на рисунке 3 результирующее их представление для сотрудников.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И.М. Подмолодина, Е.Ю. Родионова. Методический подход к оценке компетенций специалистов для инновационной экономики / И.М. Подмолодина, Е.Ю. Родионова // Вестник ВГУИТ, 2013. - №2, - С. 266-270.
2. ГОСТ Р 52807–2007 Руководство по оценке компетентности менеджеров проектов [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2009. – 18 с.

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЕРСОНАЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ**

В последние годы технологии биометрического распознавания лиц получили широкое распространение. Их точность и доступность повышается с каждым годом, а также расширяется область их применения. Они позволяют обеспечить безопасность в местах большого скопления людей, проводить фейс-контроль, использоваться в криминалистике или для обеспечения безопасности электронных устройств.

Для того, чтобы распознать лицо на изображении, необходимо извлечь особые признаки, такие как расположение разных частей лица, их размер и форма. Методы извлечения признаков делятся на две группы: использующие локальные и глобальные признаки лица [1].

Методы, которые используют локальные признаки, распознают отдельные части лица, такие как нос, рот, глаза, а также различают части лица по их яркости и цвету. Данный подход также называется эмпирическим, и использовался в начале развития компьютерного зрения, однако впоследствии утратил свою актуальность в виду того, что его точность снижается пропорционально увеличению посторонних объектов на фоне.

Методы, использующие глобальные признаки, оперируют всем лицом в целом. Они работают с лицом как с единым шаблоном. Данный шаблон разбивается на сегменты, каждый из которых впоследствии проверяется на соответствие с некоторым имеющимся паттерном. Данные методы хорошо работают для разным масштабов и ракурсов лица, однако делают множество вычислений и могут быть слишком ресурсозатратными.

Принцип распознавания лица на основе признаков впервые был описан в 1998 году, в котором предполагалось использование Вейвлетов Хаара для решения задачи выделения лиц [2]. В 2001 году П. Виола и М. Джонс на основе данной идеи разработали алгоритм Виолы-Джонса [3], который и по сегодняшний день считается одним из самых эффективных алгоритмов для распознавания лица в режиме реального времени.

В целом, все системы распознавания по лицу хоть и работают с разными методами, но при этом имеют схожие принципы работы. На сегодняшний день работу алгоритмов распознавания можно условно разделить на четыре этапа: обнаружение лица на изображении, анализ лица, конвертация изображения в данные и поиск совпадений, полученных данных с данными в базе отпечатков лиц [4]. На этапе обна-

ружения лица алгоритму необходимо найти лицо на изображении, будь то один человек или если он находится в толпе людей. Одними из проблем [5] на заре технологии распознавания лиц были нахождение лица при ухудшении освещенности на изображении, а также если человек не смотрит прямо в камеру. Однако современные технологии позволяют обнаружить лицо как в условиях недостаточной освещенности, так и при повороте головы в некоторых допустимых пределах. Анализ лица происходит посредством нахождения ориентиров, или же узловых точек. Программа анализирует узловые точки и позволяет определить такие параметры лица, как расстояние между глазами или форма черепа. На следующем этапе используется специальная функция, которая получает информацию о седловых точках, и на их основе формирует числовой код. Данный код называется отпечатком лица, и, наподобие отпечатка пальца или сетчатки глаза, уникален для каждого человека. Затем на основе полученного отпечатка происходит поиск совпадения в базе данных.

На сегодняшний день системы идентификации персонала по лицу могут стать отличным решением для предприятия. Данное решение позволит не только упростить доступ на предприятие персоналу, но также препятствовать проникновению нарушителей на территорию. Системы распознавания обеспечивают высокую точность распознавания, их довольно сложно обмануть, а также такие системы достаточно легко интегрировать с уже имеющимся охранным оборудованием. Например, ее можно развернуть с использованием уже имеющихся на предприятии камер наблюдения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Stan Z. Li, Anil K. Jain. Handbook of Face Recognition, Stan Z. Li, Anil K. Jain, Second Edition, Springer, 2011. - С. 699.
2. Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг, Спицын В.Г. Алгоритмическое и программное обеспечение для классификации цифровых изображений с помощью вейвлет преобразования Хаара и нейронных сетей // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – С. 103–106.
3. P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features", Computer Vision and Pattern Recognition, 2001, vol.1, С. 511 – 518.
4. Земцов А. Н. Алгоритмы распознавания лиц и их применение в системах биометрического контроля доступа. LAP Academic Publishing, 2011. - С. 128.
5. Face Recognition [Электронный ресурс] / NISTC Subcommittee on Biometrics and Identity Management Room. — 20 February, 2020. — Режим доступа: <http://www.dhs.gov/biometrics/>.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Проведен сравнительный анализ использования методов машинного обучения LDA, KNN, RF и SVM для классификации изображений. Установлено, что наиболее оптимальной точностью классификации изображений является алгоритм машинного обучения - случайный лес (Random Forest - RF), который является ансамблем деревьев решений. Результаты анализа представлены на рисунке ниже.

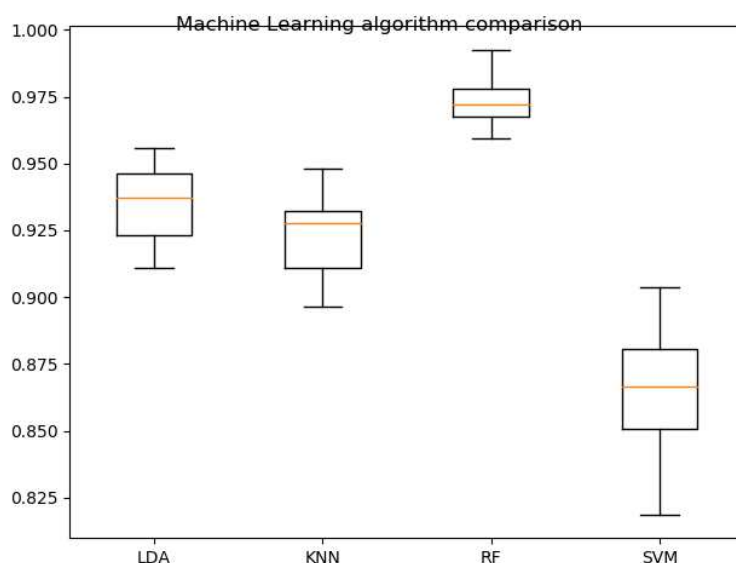


Рисунок - График сравнения точности алгоритмов

В связи с этим было решено использовать этот алгоритм как основу для последующей работы [1-2]. К основным преимуществам данного алгоритма можно отнести следующее:

- способность эффективно обрабатывать данные с большим числом признаков и классов;
- нечувствительность к масштабированию;
- высокая параллелизуемость и масштабируемость;
- одинаково хорошо обрабатываются как непрерывные, так и дискретные признаки.

Исследования были проведены на наборе изображений космической съемки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пацей Н.В., Шиман Д.В., Наркевич А.С., Сухорукова А.С. Методы очистки и подготовки информации для решения задач

интеллектуального анализа //сборник статей II Междунар. науч.-практ. конф. «Минские научные чтения», Минск, 11–12 декабря 2019 г. – Минск : БГТУ, 2019.

2. Patsei N.V., Samal A.D. MULTI-LABLE IMAGE CLASSIFICATION MODEL ARCHITECTURE// Проблеми інфокомунікацій : Матеріали III всеукраїнської науково-технічної конференції. – Полтава: ПолтНТУ; Київ: НТУ; Харків: НТУ«ХП»; Полтава: ВКСС ВІТІ, 2019.

УДК 004.85

О.Л. Панченко, ассист. (БГТУ, г. Минск)

## **ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ЯЗЫКЕ PYTHON**

Рассмотрим настройку конвейера машинного обучения в `scikit-learn` для предварительной обработки данных и обучения модели. В качестве тестового примера будем классифицировать фотографии оборудования по их соответствующим типам, но, конечно, описанные методы могут быть применены ко всем видам проблем машинного обучения.

Наши фотографии уже были прочитаны, изменены и сохранены в словаре вместе с их ярлыками (тип устройства). Этот словарь сохранен в файл `pickle` с помощью `joblib`.

Фотографии уже были прочитаны, изменены и сохранены в словаре вместе с их ярлыками (тип устройства). Словарь содержит изображения, метки, оригинальные имена файлов и описание. Сами изображения хранятся в виде массивов, содержащих их значения RGB. Далее нужно разделить наши данные на тестовый и обучающий набор. Возьмем 80% от общего набора для обучения, а оставшиеся - для тестового набора. В наборе данных оборудование упорядочено по типу, поэтому мы не можем просто разделить на 80%. Если они упорядочены, и мы разделяемся в некоторой позиции, мы получим некоторых типы, появляющихся только в одном из двух наборов, например, один из типов устройств появляются только в тестовом наборе. Это проблематично, так как мы никогда не научим нашу модель распознавать коров. Следовательно, он не может правильно их предсказать [1].

Классическим подходом к распознаванию объектов является `HOG-SVM`, который обозначает гистограмму ориентированных градиентов и машин опорных векторов соответственно. Другими словами, `HOG` используются для уменьшения функциональности, чтобы снизить сложность задачи, сохраняя при этом как можно больше ва-

риаций.

Чтобы вычислить HOG, изображение делится на блоки, например, 8 на 8 пикселей. Для каждого из этих блоков рассчитывается величина градиента в заданном количестве направлений [2].

При расчете нашего HOG мы провели преобразование. Мы можем преобразовать весь наш набор данных с помощью трансформаторов. Это объекты, которые принимают массив данных, преобразуют каждый элемент и возвращают полученные данные.

Нам нужно преобразовать цветные изображения в оттенки серого, рассчитать их HOG и, наконец, масштабировать данные. Для этого мы используем три трансформатора подряд, RGB2GrayTransformer, HOGTransformer и StandardScaler. Окончательный результат - массив с HOG для каждого изображения на входе.

Следующим шагом является обучение классификатора. Начнем со Стохастического градиентного спуска (SGD), потому что он работает достаточно хорошо и быстро.

Сначала создаем экземпляр, а затем вызываем метод `fit`, передавая наши обучающие данные и метки.

Чтобы протестировать обученный классификатор SGD, мы будем использовать наш тестовый набор. Сначала мы преобразуем его, используя те же трансформаторы, что и раньше. Однако нужно позаботиться о том, чтобы наши данные испытаний не влияли на трансформаторы. Далее делаем прогнозы для нашего тестового набора и смотрим на результаты. Поскольку у нас уже есть куча параметров для работы, было бы неплохо автоматизировать этот процесс. В следующем блоке создадим конвейер, который предварительно обрабатывает данные, обучает модель и позволяет нам легче работать с параметрами

Метод подбора конвейера принимает входные данные и поэтапно преобразует их, последовательно вызывая метод `fit_transform` каждого преобразователя. Данные передаются с выхода на вход, пока не достигнут конца или оценки, если таковой имеется. Когда последний элемент в конвейере является оценщиком, вызывается его метод подбора для обучения модели с использованием данных трансформатора.

Полученный объект можно использовать непосредственно для прогнозирования. Тестовые данные передаются в метод прогнозирования, который вызывает методы преобразования, после чего выполняется прогноз на последнем шаге.

Строим базовую модель для классификации изображений на основе их функций HOG. И самое главное, эта методология является общей и может применяться ко всем видам проблем машинного обучения [3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Tutorial: image classification with scikit-learn [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://kapernikov.com/tutorial-image-classification-with-scikit-learn/> – 31.01.2020
2. Histogram of Oriented Gradients [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.learnopencv.com/histogram-of-oriented-gradients/> – 31.01.2020
3. Н. В. Пацей Алгоритм многоуровневой классификации объектов, основанный на кодах коррекции ошибок // Информационные технологии : материалы 83-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 4-15 февраля 2019 года [Электронный ресурс] / отв. за издание И.В. Войтов; УО БГТУ. – Минск : БГТУ, 2019. – с. 48

УДК 004.82

Д.И. Самаль, доц., канд. техн. наук; А. А. Понкратов, асп.;  
А.Д. Конигов, магистрант (БГУИР, г. Минск)

### **ПЛАТФОРМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РОЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ РОБОТОВ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ДВИЖЕТЕЛЕМ**

Сфера автономных мобильных роботов набирает высокую популярность и получает всё большее распространение. По заслуживающим внимания оценкам, наибольшее развитие она получит в течение ближайших 5-10 лет [1]. Одним из малоисследованных направлений в данной области являются исследования коллективного интеллекта, иными словами роевого поведения. Рой – группа роботов с низким уровнем способностей, но формирующих в совокупности робота с высоким уровнем способностей. Множество независимых компактных роботов смогут объединяться для решения одной большой и сложной задачи, непосильной для решения одним роботом либо требующей слишком много ресурсов: энергии, времени и т.д. Примером такой задачи является перемещение крупного и тяжёлого объекта, либо большого множества маленьких объектов.

Многие направления технологий подсмотрены у природы, роевое поведение не исключение. Муравьи образуют колонии, пчёлы живут семьями, птицы собираются в стаи, рыбы в косяки. Эти группы организмов проявляют сложное социальное поведение, но при этом каждый индивид является довольно простым по строению и поведению. Наиболее популярными алгоритмами роевого поведения явля-

ются алгоритмы поиска еды и защиты от внешних опасностей.

Типичными задачами, решаемыми роем, являются: синхронизация (по принципу светлячка), выстраивание в линию (chain formation), сбор в кучу (Aggregation), поиск оптимального маршрута (Collective Exploration), перемещение объекта.

При разработке алгоритмов роевого поведения возникает необходимость отладки и визуализации процесса работы алгоритма. Наглядное представление процесса работы алгоритмов роевого поведения является незаменимым в процессе образования, помогает быстрее понять принципы работы этих алгоритмов, что существенно облегчает их изучение.

В докладе рассмотрены параметры самых известных робототехнических платформ для моделирования роевого поведения.

- mROBerTO (Mechanical and Industrial Engineering University, Канада)
- Kilobot (Harvard University, США)
- Jasmine (University of Stuttgart, Германия)
- Robatz network (БГУ, Минск)

Выделены общие критерии, которыми обладают все рассмотренные платформы. Данные критерии позволяют задать требования для построения собственной платформы. Необходимыми функциональными требованиями являются:

- автономность;
- взаимодействие и обмен данными с другими роботами;
- передвижение;
- обнаружение препятствия;
- индикация;
- чувствительность к внешнему воздействию.

В виду применения данной платформы в образовательном процессе система должна быть компактной, недорогой и легко тиражируемой, в том числе силами студентов младших курсов.

В качестве системы управления роботом [3], используется платформа ESP32, которая представляет собой двухядерный 32-битный микропроцессор с таковой частотой до 240МГц с 520Кб ОЗУ, 448Кб ПЗУ, а также имеет встроенный модуль Wi-Fi 802.11n и Bluetooth 4.2. Данный модуль обладает низкой стоимостью и малым энергопотреблением, большим количеством линий ввода/вывода – 34, плюс ко всему имеется 12-битный АЦП, 8-битный ЦАП и некоторые проводные системы коммуникации: 4 порта SPI, 2 порта I2C, 3 порта UART, 16 каналов ШИМ, инфракрасный порт, поддержка CAN шины, контроллер управления картами памяти и многое другое.



Под эту платформу написано множество библиотек, что позволяет сократить время на разработку программной составляющей системы. Встроенный Wi-Fi модуль позволяет связать роботов между собой в mesh-сеть используя технологию ESP-Now. Таким образом роботы могут обмениваться данными между собой без необходимости подключения к общей точке доступа

В данном проекте применяется вибрационный двигатель на основе пьезоэлемента разработанный и запатентованный профессором Владимиром Тимофеевичем Минченей [2]. Он представляет из себя равнобедренный треугольник с загнутыми краями, изготовленный из листовой стали, к которому приклеен пьезоэлемент. При подаче переменного напряжения с определённой частотой, начинаются колебания. Т.к. пьезоэлемент жёстко соединён с платформой, то все колебания пьезоэлемента передаются на стальное основание. Волны механических колебаний распространяются по металлу и вызывают пружинящие колебания (изгибания) очень малой амплитуды ножек платформы. При попадании в частоту резонанса, из-за различных расстояний от пьезоэлемента до концов ножек платформы в определённый момент вектор суперпозиции сил оказывается ненулевым и направленным в определённую сторону, что вызывает движение платформы. Сужающиеся углы треугольника вызывают существенный рост амплитуды волн колебаний на концах ножек основания, что обеспечивает ещё большее смещение платформы. Отверстие в платформе изначально расположено в точке наибольших механических напряжений и вызывает переотражение и усиление колебаний.

При движении платформы, из-за шероховатости поверхности, по которой она движется, возникает отклонение движения робота от намеченного курса. Чтобы устранить отклонения в движении требуется вводить корректировки, рассчитываемые на основании системы обратной связи, построенной на базе оптического сенсора компьютерной мыши.

Основные достоинства данного двигателя - простота и дешевизна конструкции, позволяющая создать множество экземпляров для изучения роевого поведения роботов.

Главным недостатком является необходимость подбора частот для приведения платформы в движение для каждого экземпляра робота. Данный недостаток необходимо решать алгоритмически, с сохранением параметров на самом роботе.

Для приведения платформы в движение используется DDS-генератор на основе микросхемы AD9833[4], позволяющий генерировать сигналы различной формы в диапазоне от 0,1 Гц до 12 МГц с

точностью 0,1 Гц.

Вся система питается от аккумуляторов типоразмера 18650, для питания управляющих цепей используется step-up преобразователь на 5В. Для подавления помех импульсного преобразователя применён LC-фильтр.

Для идентификации соседей используется система, основанная на инфракрасных передатчиках и приёмниках. Эта же система используется для определения расстояния до препятствий, с помощью триангуляции [5]. Несколько фотоприёмников расположенных по кругу, таким образом можно определить, с какой стороны находится сосед, переместившись на определённое расстояние и повторно измерив угол взаимного расположения на основании триангуляции можно вычислить расстояние до препятствия.

Модульность, низкая цена и простота конструирования платформы позволяет применять её в исследовательских проектах и образовательном процессе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gartner Hype Cycle [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/>
2. Спецификация микроконтроллеров семейства ESP32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
3. Минченя В.Т. Цифровые системы управления технологическим оборудованием : уч. пособие / В. Т. Минченя [и др.]. – Минск : Энциклопедикс, 2016. – 108 с. Информационные технологии и управление : материалы 49 науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 6–10 мая 2013 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2013. – 103 с.
4. Спецификация DDS-генератора AD9833 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9833.pdf>
5. Justin Yonghui Kim. Designing an Effective Millirobot for Swarm Behaviour Studies with Human-Swarm Interaction / Justin Yonghui Kim – Toronto, Mechanical And Industrial Engineering University of Toronto, 2017

УДК 531.19+544.72

Э. Э. Бильданов, асп.; В.С. Вихренко, проф., д-р физ.-мат. наук  
(БГТУ, г. Минск);

Я. Пекальски, доктор философии; А. Цях, проф., доктор;  
(ИФХ ПАН, г. Варшава, Польша)

## АДСОРБЦИЯ ЧАСТИЦ В КЛАСТЕРОБРАЗУЮЩИХ ДВУМЕРНЫХ СИСТЕМАХ С КОНКУРИРУЮЩИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

Адсорбция в сложных системах, элементы которых взаимодействуют между собой посредством конкурирующего взаимодействия (ван-дер-ваальсовское притяжение на малых расстояниях и электростатическое отталкивание на больших) играет важную роль в эффектах, обусловленных наличием разного рода ограничений в самоорганизующихся кластерообразующих системах.

В данной работе рассматривается система на плоской треугольной решетке, ограниченная двумя параллельными линиями (стенками), взаимодействующими с ограничиваемыми ими частицами. В направлении, параллельном стенкам, приняты периодические граничные условия для уменьшения влияния ограниченного объема. Гамильтониан системы определяется уравнением (1):

$$H = \frac{1}{2} \sum_{\mathbf{x}} \sum_{\mathbf{x}'} n(\mathbf{x}) V(\mathbf{x} - \mathbf{x}') n(\mathbf{x}') - \sum_{\mathbf{x}} \mu n(\mathbf{x}) + \sum_{\mathbf{x}_b} h n(\mathbf{x}_b), \quad (1)$$

где  $h$  – энергия взаимодействия с границей частицы, расположенной в соседнем с ней узле;  $\mathbf{x}_b$  – радиус-векторы приграничных узлов. Отношение энергий  $V$  межчастичного отталкивания и притяжения принято равным трем согласно работе [1]. Стенки принимались нейтральными ( $h=0$ ), притягивающими ( $h<0$ ) или отталкивающими ( $h>0$ ). Энергетические величины обезразмерены по энергии межчастичного притяжения.

Расстояние между стенками  $B$  и размер периодичности  $L$  выбраны достаточно большими ( $L=B=80$  параметров решетки), чтобы минимизировать размерные эффекты.

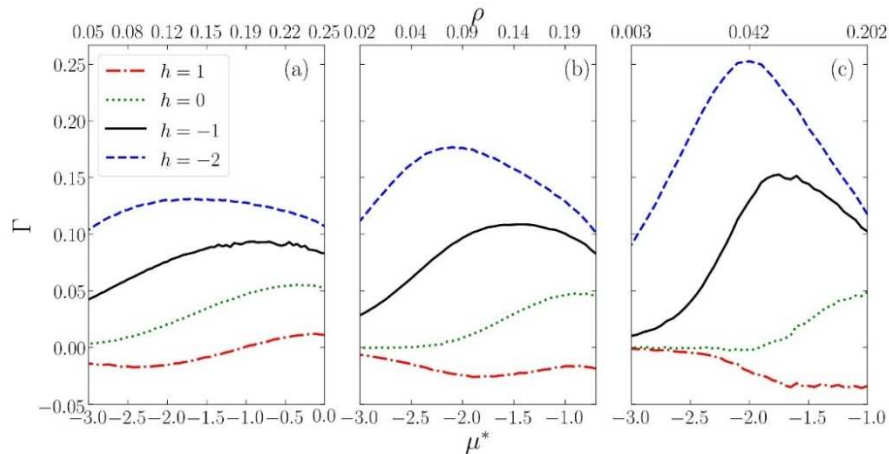
Адсорбция в рассматриваемой модели определялась как

$$\Gamma(\mu) \approx \frac{1}{2} \sum_{z=0}^{L-1} [\rho(z) - \rho_c], \quad (2)$$

где  $\rho(z)$  – средняя концентрация частиц на расстоянии  $z$  от стенки;  $\rho_c$  – средняя концентрация частиц в центральной трети системы, равная объемной концентрации при периодических граничных условиях.

Адсорбция исследована при различных значениях температуры

и характерах взаимодействия со стенками (рисунок 1). Диапазоны изменения безразмерного химического потенциала  $\mu$  ограничены сверху значениями  $(-1,0; -0,7; 0,0)$  для температур  $T=(0,5; 0,7; 1,0)$ , соответственно, чтобы избежать влияния фазовых переходов в системе.



**Рисунок 1 – Зависимость адсорбции  $\Gamma$  от химического потенциала  $\mu$  для различных значений энергии  $h$  взаимодействия стенок с частицами при температурах  $T=1,0$  (a),  $T=0,7$  (b) и  $T=0,5$  (c)**

Для притягивающих стенок ( $h < 0$ ) максимум адсорбции при низкой температуре  $T=0,5$  наблюдается при значении химического потенциала, которое соответствует неупорядоченной газовой фазе в объеме. При низких значениях химического потенциала адсорбция слабая из-за очень низкой плотности частиц. С увеличением химического потенциала и соответственно объемной плотности частиц адсорбция увеличивается до промежуточного значения химического потенциала, и затем начинает уменьшаться. В более нагретой среде ( $T=0,7; 1,0$ ) осаждение частиц на стенке становится менее интенсивным. В результате максимальные значения адсорбции уменьшаются с увеличением температуры, а пик адсорбции сглаживается.

Когда адсорбция возрастает с увеличением  $\mu$ , в системе доминируют мономеры. Даже если кластеры присутствуют, когда  $\mu$  превышает определенное значение, вероятность нахождения частицы в виде мономера выше, чем вероятность ее нахождения в составе какого-либо кластера. При увеличении  $\mu$  плотность частиц в пристенном слое увеличивается быстрее, чем плотность в объеме, но все еще достаточно мала, так что среднее расстояние между частицами больше радиуса межчастичного отталкивания. В этом режиме низкой плотности более вероятно, что отдельные частицы, а не их кластеры, будут вводиться в систему при увеличении  $\mu$ . Более того, с большой вероятностью новые частицы будут адсорбироваться на притягивающей стенке. Как следует из рисунка 1, даже нейтральная стенка эффектив-

но притягивает частицы, потому что межчастичное отталкивание в объеме не компенсируется отсутствующими соседями при  $z < 0$ .

Однако при  $\mu$ , превышающих значения, соответствующие максимумам кривых на рисунке 1, вероятность нахождения изолированной частицы меньше, чем вероятность принадлежности частицы оптимальному кластеру. В этом случае можно ожидать, что при увеличении  $\mu$  кластеры будут вводиться в систему с большей вероятностью, чем изолированные частицы. Для этого диапазона  $\mu$  плотность в пристенном слое больше, а среднее расстояние между кластерами значительно меньше, чем в объеме. По этой причине межчастичное отталкивание в объеме сказывается слабее, чем в пристенной области, что обеспечивает преимущественное появление новых кластеров в объеме, а не в приповерхностной области. В результате плотность в объеме растет быстрее, чем на стенке, и при увеличении  $\mu$  адсорбция уменьшается. Более того, уменьшению отталкивания между кластерами способствует возникновение ближнего порядка у стенки, который, в свою очередь, инициируется увеличением плотности среды. Этот ближний порядок проявляется колебательным характером распределения взаимной плотности частиц (описываемой корреляционной функцией) в перпендикулярном и параллельном направлениях по отношению к ограничивающей стенке. Плотность в кластерах на ближайшем к стенке и следующем за ним рядах узлов решетки приближается к  $1/2$ , а плотность в рядах 3 и 4 приближается к нулю при понижении температуры. Этот разреженный слой дает отрицательный вклад в адсорбцию и показывает, что притягивающая поверхность, покрытая кластерами частиц с конкурирующим взаимодействием, становится эффективно отталкивающей вследствие формирования отталкивающего барьера адсорбированными на стенке частицами. Аналогичная зона истощения наблюдалась в трехмерной системе [2]. Следует ожидать, что и другие отмеченные выше аномалии адсорбции сохранятся и в трехмерных системах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Almarza N. G., Pekalski J., Ciach A. Periodic ordering of clusters and stripes in a two-dimensional lattice model. II. Results of Monte Carlo simulation // J. Chem. Phys. 2014. V. 140. Art. #164708.
2. Litniewski M., Ciach A. Effect of aggregation on adsorption phenomena // J. Chem. Phys. 2019. Vol. 150. Art. #234702.

## ВЛИЯНИЕ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Наряду с дальнедействующими кулоновскими короткодействующие взаимодействия между ионами в твердых электролитах могут проявляться вследствие ван-дер-ваальсовских сил межчастичного притяжения. При этом на малых межчастичных расстояниях важную роль играют межчастичные корреляции.

Полученное в работе [1] уравнение для двухчастичной коррелятивной функции

$$h(\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2) = F_2(\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2) - F_1(\mathbf{q}_1)F_1(\mathbf{q}_2), \quad (1)$$

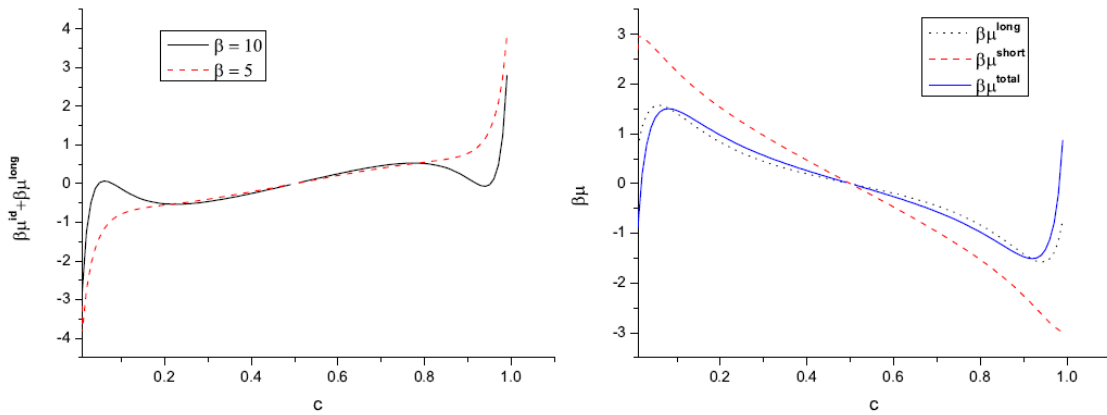
где  $F_1$  и  $F_2$  – одно- и двухчастичная функции условных распределений, позволяет выполнить вычисления для различных координационных сфер расположения частиц в точках  $\mathbf{q}_2$  по отношению к частицам в точках  $\mathbf{q}_1$  в зависимости от концентрации ионов  $c$ . Как следует из выполненных вычислений, вклад межчастичных корреляций быстро убывает с увеличением расстояния между частицами (т.е. номера координационной сферы), и является существенным фактически лишь для первых двух координационных сфер. Аналитическое разложение уравнения для  $h$  по концентрации частиц  $c$  или вакансий  $(1-c)$  показывает, что при  $c \rightarrow 0$  функция  $h_k \sim c^2$ , а при  $c \rightarrow 1$   $h_k \sim (1-c)^2$ . Кроме того, для всех  $k$  функция  $h_k$  симметрична относительно  $c = 0,5$ .

При распределении ионов твердого электролита по узлам простой кубической решетки результаты расчета химического потенциала как функции концентрации  $c$ , безразмерной обратной температуры  $\beta$  и максимального числа учитываемых координационных сфер  $k_{\max}$  представлены на рисунке 1. Из концентрационных зависимостей составляющей химического потенциала  $\mu^{\text{long}}(k_{\max}, c, \beta)$ , обусловленной дальнедействующими взаимодействиями (правая панель на рисунок 1) при  $\beta = 10$  и  $k_{\max} = 2 \dots 5$  видно, что достаточно учесть пять координационных сфер.

Фазовый переход в базисной системе определяется по зависимости химического потенциала  $\mu_b$  базисной системы от концентрации

$$\beta\mu_b = \ln c / (1 - c) + \beta\mu^{long} \quad (2)$$

Эта зависимость показана на левой панели рисунка 1 для температур выше и ниже критической ( $\beta = 5$  и  $\beta = 10$ , соответственно). Вклад от короткодействующего взаимодействия найден при учете взаимодействия между ближайшими соседями, которое характеризуется энергетическим параметром  $J$ , по которому выполнено обезразмеривание всех энергетических величин. На правой панели рисунка 1 сравниваются вклады в химический потенциал короткодействующих  $\mu^{sh}(c, \beta)$  и дальнедействующих  $\mu^{long}(c, \beta)$  взаимодействий, и показан суммарный химический потенциал как функция концентрации.



**Рисунок 1 – Зависимость составляющих химического потенциала от концентрации при  $\beta J = 0,1$ . Левая панель: сумма идеального и дальнедействующего вкладов в химический потенциал. Правая панель: коротко- и дальнедействующие вклады в химический потенциал и их сумма.**

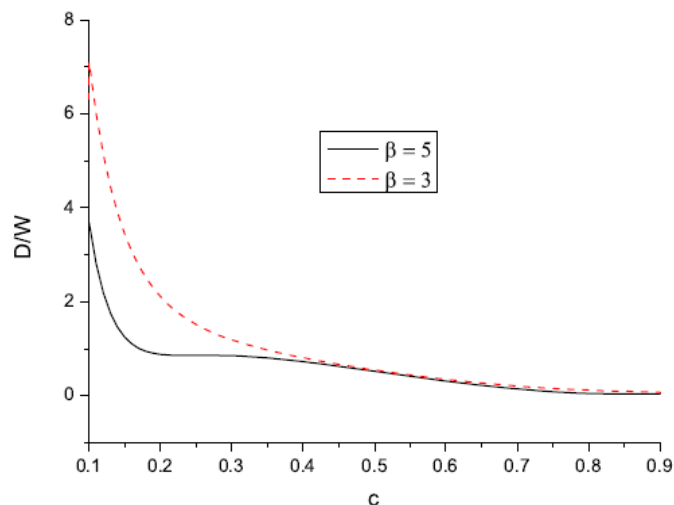
На основании результатов расчета корреляционной функции  $F_{00}$  взаимного распределения вакансий и сжимаемости, можно найти коэффициент химической диффузии (коэффициент пропорциональности при градиенте концентрации) ионов согласно работам [2,3]

$$D = WF_{00} \left( \frac{\partial \beta\mu_b}{\partial c} \right), \quad (2.3)$$

где  $W$  – частота колебаний частиц вокруг узла решетки,  $F_{00}$  – вероятность того, что два соседних узла являются вакантными, а последний множитель в круглых скобках является сжимаемостью. Выражение для корреляционной функции взаимного распределения вакансий записывается в виде

$$F_{00} = F(0_i, 0_j) = \frac{\eta_{ij}}{K_{ij}} (1 - c)^2 \quad (2.4)$$

На рисунке 2 представлена приведенная транспортная характеристика  $D_1 = D/W$  в зависимости от концентрации.



**Рисунок 2 – Приведенный коэффициент диффузии как функция концентрации при двух температурах выше критической.**

Как и следовало ожидать, коэффициент диффузии сильно уменьшается с увеличением концентрации и понижением температуры. Однако при больших концентрациях температурная зависимость становится слабой.

Более подробно вычисления представлены в работе [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bokun G. S. Cluster expansion for description of condensed state: crystalline cell approach / G. S. Bokun, M. F. Holovko // Condensed Matter Phys. – 2018. – Vol.21. – No.4.
2. Zhdanov V.P. General equations for description of surface diffusion in the framework of the lattice-gas model // Surf. Sci. – 1985. – Vol. 149. – P. L13.
3. Thermodynamics and diffusion of a lattice gas on a simple cubic lattice / P. Argyrakis [et al.] // Phys. Rev. E. – 2001. – Vol. 64. – P. 066108-1 – 066108-11.
4. Short- and long-range contributions to equilibrium and transport properties of solid electrolytes / G. Bokun [et al.] // Condensed Matter Physics – 2019. – Vol. 22, No. 3. – P. 33501.



В. С. Гришина, асп.; В. С. Вихренко, проф., д-р физ.-мат. наук  
(БГТУ, г. Минск)

А. Цях, проф., доктор (ИФХ ПАН, г. Варшава, Польша)

## ЛИНЕЙНОЕ НАТЯЖЕНИЕ В ОСНОВНОМ СОСТОЯНИИ SRLA СИСТЕМЫ

Монослои частиц на границах раздела двух жидкостей, имеющих структуру ядро-оболочка, находят применение в плазмонных системах, антибликовых покрытиях, подложках с предварительно нанесенным рисунком, при выращивании упорядоченных структур [1,2]. Такие частицы склонны образовывать гексагональные структуры, которые могут воспроизводиться на треугольной решетке. Они характеризуются отталкиванием между ближайшими соседями и взаимным притяжением более далеких соседей (SRLA – Short-range Repulsion Long-range Attraction взаимодействие).

Рассматривается система  $N$  частиц на треугольной решетке, содержащая  $M$  решеточных узлов. Все энергетические величины обезразмерены по энергии отталкивания ближайших соседей  $J_1^* = J$ . В частности, взаимное притяжение вторых соседей характеризуется величиной  $J_2 = -J_2^* / J$ . При увеличении химического потенциала  $\mu$  состояния системы изменяются от вакуума (отсутствие частиц) последовательно до концентраций ( $c = \langle N \rangle / M$  – среднее число частиц, приходящихся на узел решетки)  $1/3$ ,  $2/3$ ,  $1$  (конденсированное состояние). Эти четыре состояния разделены линиями сосуществования фаз  $\mu = -3J_2$ ,  $\mu = 3 - 3J_2$ ,  $\mu = 6 - 3J_2$ .

В большом каноническом ансамбле реализуются только отмеченные выше концентрации частиц на решетке. Для системы с фиксированным числом частиц при концентрациях, отличающихся от отмеченных выше, одновременно сосуществуют две фазы, разделенные межфазной границей, которая характеризуется дополнительной энергией образования. Эта энергия, отнесенная к единице длины границы, носит название линейного натяжения. Ориентация линии раздела фаз определяется минимумом энергии всей системы, поскольку энтропийное слагаемое при  $T = 0$  зануляется. Исходя из соображений симметрии, на треугольной решетке межфазные границы могут быть параллельны (границы первого типа) или перпендикулярны (границы второго типа) трем единичным векторам  $\mathbf{e}_i$  с углом  $\pi/3$  между ними.

Рассмотрим в качестве примера границу раздела между вакуумом

и гексагональной фазой с концентрацией  $c = 1/3$ . Линии раздела фаз, параллельная и перпендикулярная направлению  $\mathbf{e}_1$ , показаны на рисунке 1a (горизонтальная линия) и на рисунке 1b (вертикальная линия), соответственно.

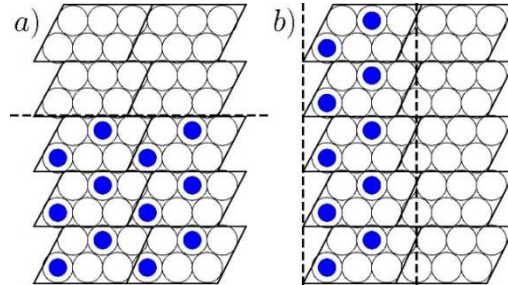


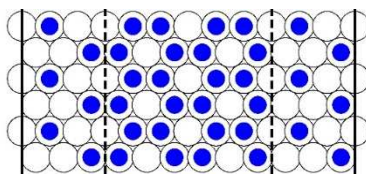
Рисунок 1 – Решетка с  $M = 60$  узлами, распределенными между 10 элементарными ячейками. а) Средняя концентрация  $c = 12/60 = 0,2$ , граница раздела (горизонтальная линия в середине системы) первого типа. б) Средняя концентрация  $c = 1/6$ , и границы раздела второго типа (вертикальные линии)

Линейное натяжение для линии первого типа равно  $\sigma = (4J_2 / 2) / 3a = 2J_2 / 3a$ , поскольку каждая частица в приграничном ряду теряет три связи, а во втором ряду – одну связь со вторыми соседями, и период последовательности частиц вдоль линии границы равен  $3a$ . Для линий второго типа частицы в приграничном ряду теряют по две связи каждая, а расстояние между частицами составляет  $\sqrt{3}a$ ; линейное натяжение  $\sigma = J_2 / \sqrt{3}a$ . Таким образом, реализуются линии второго типа, которым соответствуют более низкие энергии.

При контакте фаз с концентрациями  $1/3$  и  $2/3$  образуются две неэквивалентные параллельные линии раздела фаз (рисунок 2). Большой термодинамический потенциал принимает вид:

$$\Omega = \omega M + (\sigma_1 + \sigma_2)L, \quad (1)$$

где  $\omega$  – потенциал на узел решетки в объеме сосуществующих фаз,  $L$  – длина границы раздела,  $\sigma_i$  – поверхностное натяжение на границе раздела  $i$ . Увеличение энергии на каждые два горизонтальных ряда с учетом потери связей с первыми и вторыми соседями составляет  $1/2 + J_2$  на правой стороне и  $-1/2 + J_2$  на левой стороне. В результате получим  $\sigma = (\sigma_1 + \sigma_2) / 2 = 2J_2 / 2\sqrt{3}a = J_2 / \sqrt{3}a$ . Следовательно, линейное напряжение для границы второго типа такое же, как и при контакте фаз с  $c = 0$  и  $1/3$ . Такое же значение получим и для контакта фаз  $c = 2/3$  и  $1$ .



**Рисунок 2 – Решетка с  $M = 72$  узлами. Средняя концентрация  $c = 0,5$ .  
 Две пунктирные линии раздела фаз  $c = 1/3$  и  $2/3$  перпендикулярны  $e_1$   
 (вертикальные линии). Сплошные линии соответствуют периодическим  
 граничным условиям. На левой линии раздела фаз ближайшие соседние узлы  
 заняты. На правой линии раздела фаз таких пар нет**

Линейное натяжение для линии раздела фаз, параллельной единичному вектору  $e_1$ , составляет  $\sigma = 2J_2/3a$ , как и в случае контакта фаз  $c = 0$  и  $1/3$ . Моделирование методом Монте-Карло при низкой температуре  $T = 0,1$  подтверждает появления линий раздела фаз, перпендикулярных к единичному вектору  $e_1$ .

Когда число частиц не велико, формируется капля фазы  $c = 1/3$  внутри вакуума. Форма капли определяется минимумом энергии  $H_s \sum_i \sigma_i L_i + \sum_j V_j$  при фиксированной площади капли. В вышеприведенном выражении  $\sigma_i$  и  $L_i$  – линейное натяжение и длина отрезков с ориентацией  $i$  соответственно, а  $V_j$  – энергия  $j$ -й вершины. Когда количество частиц подобрано правильно, капля имеет гексагональную форму с ребрами, перпендикулярными векторам решетки  $e_i$ . Периметр оптимальной капли  $P = 6ka\sqrt{3}$ , где  $ka$  – длина ребра. Количество потерянных связей с учетом угловых частиц равно  $6[(k-1)2+3] = 12k+6$ . Линейное натяжение  $\sigma = H_s / P = (1+1/2k)J_2 / (a\sqrt{3})$ . С другой стороны, для шестиугольной пустоты получим  $\sigma = H_s / P = (1-1/2k)J_2 / a\sqrt{3}$ . В пределе больших значений  $k$  оба значения стремятся к линейному натяжению для линии второго типа в соответствии с ориентацией сторон шестиугольника.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Stable in bulk and aggregating at the interface: Comparing core-shell nanoparticles in suspension and at fluid interfaces / SA Vasudevan [et al.] // Langmuir. 2018. Vol. 34. P. 886–895.
2. Nanogels and Microgels: From Model Colloids to Applications, Recent Developments, and Future Trends / M. Karg [at al.] // Langmuir. 2019. Vol. 35. P. 6231–6255.

УДК 531.19+544.72

В. С. Гришина, асп.; В. С. Вихренко, проф., д-р физ.-мат. наук  
(БГТУ, г. Минск);

А. Цях, проф., доктор (ИФХ ПАН, г. Варшава, Польша)

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ SRLA СИСТЕМЫ

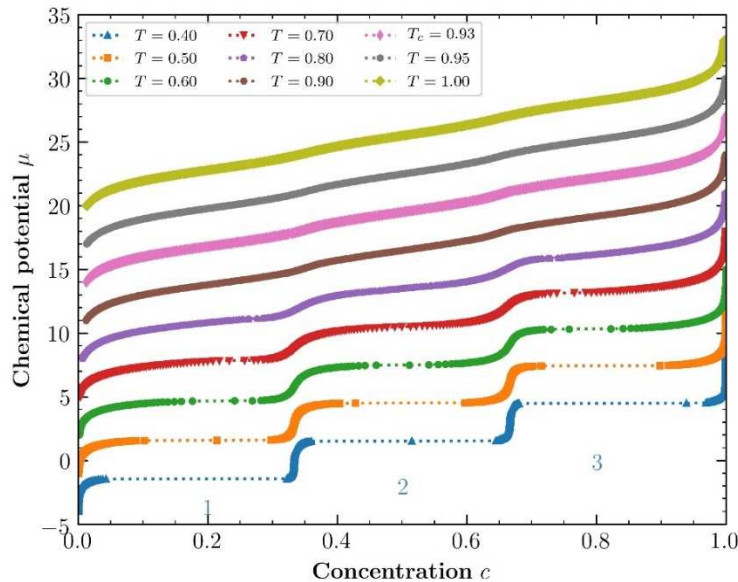
Рассматривается SRLA (Short-range Repulsion Long-range Attraction) система на треугольной решетке, частицы которой отталкиваются с энергией  $J$  при расположении на ближайших соседних узлах. Если частицы удалены на расстояние вторых соседей, они притягиваются с энергией  $-J_2J$ . Одномерный вариант подобной системы рассмотрен в работе [1], где было отмечено качественное соответствие полученных результатов с экспериментальными данными. В работе [2] исследовалась система с взаимодействием первых и третьих соседей.

Основные состояния (в пределе низких температур) рассматриваемой системы характеризуются наличием дальнего порядка в распределении частиц при концентрациях 0 (вакуумное состояние),  $1/3$  (заполнена одна подрешетка из трех),  $2/3$  (заполнены две подрешетки) и 1 (конденсированное состояние).

При отличных от нуля, но не слишком высоких температурах упорядоченные состояния сохраняются, последовательно переходя от вакуума до конденсированного состояния по мере увеличения химического потенциала  $\mu$  (все энергетические величины, включая абсолютную температуру, умноженную на постоянную Больцмана, обезразмерены по параметру  $J$ ). Результаты моделирования системы по методу Монте Карло в большом каноническом ансамбле представлены на рисунке 1. Для минимизации размерных эффектов моделировалась достаточно большая система, содержащая  $96 \times 96$  узлов при периодических граничных условиях. При моделировании первые 1000 Монте Карло шагов (МКШ) отводились на эквilibризацию системы; средние значения определялись по последующим 10000 МКШ.

На концентрационных изотермах при  $T \leq 0,70$  хорошо видно, что на больших интервалах изменения концентрации отсутствуют точки моделирования, и при увеличении химического потенциала система скачком изменяет концентрацию на более высокую. Пунктирные горизонтальные линии, обозначенные цифрами с номерами 1, 2, 3, соответствуют сосуществованию двух упорядоченных фаз: вакуума и  $c = 1/3$ ,  $c = 1/3$  и  $c = 2/3$ ,  $c = 2/3$  и конденсированная фаза. Несколько точек на этих интервалах соответствуют метастабильным состояниям, которые иногда могут быть реализованы в ходе моделирования. При

увеличении температуры ступеньки, характеризующие упорядоченные фазы с дефектами (вакансии при концентрациях несколько ниже идеальных значений  $1/3$ ,  $2/3$ ,  $1$ , или избыточных частиц на других подрешетках при концентрациях несколько выше идеальных значений  $0$ ,  $1/3$ ,  $2/3$ ), постепенно уширяются и при температуре выше критической ( $T_c \cong 0,93$ ) переходят в сплошную кривую.



**Рисунок 1 – Изотермы концентрации при  $J_2 = 1/2$ . Для наглядности изотермы смещены по вертикали вверх на 3 единицы друг относительно друга.**

**Не смещенной является изотерма при  $T = 0,40$ .**

**$T_c \cong 0,93$  – критическая температура**

Дополнительными индикаторами фазовых переходов являются флуктуации числа частиц и энергии. Последние связаны с теплоемкостью при постоянном химическом потенциале, которая в безразмерной форме может быть записана как:

$$C_\mu = (\partial E / \partial T)_\mu / \langle N \rangle = \langle \langle E^2 \rangle - \langle E \rangle^2 \rangle / \langle N \rangle T^2, \quad (1)$$

где  $E$  – энергия системы, а угловые скобки означают усреднение по ансамблю или по симулируемому ряду состояний.

Флуктуации подавляются в наиболее упорядоченных состояниях и достигают больших значений на границах фаз (рисунок 2.). Характер зависимости теплоемкости от концентрации изменяется при  $T_c \cong 0,93$  (исчезают минимумы при концентрациях, близких к  $1/3$  и  $2/3$ ), что позволяет идентифицировать эту температуру как критическую. Данный вывод также подтверждается поведением среднеквадратичных флуктуаций числа частиц.

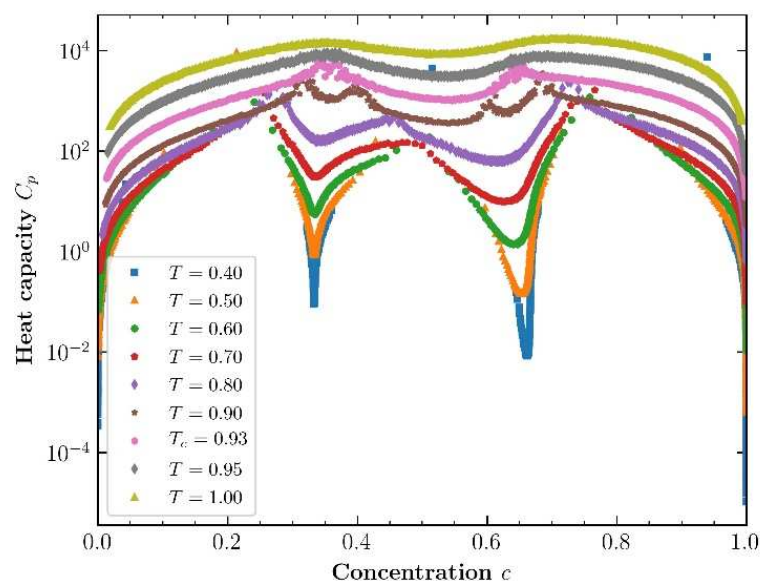


Рисунок 2 – Зависимость теплоемкости от концентрации. Для наглядного представления данных по вертикали использовалась логарифмическая шкала и каждая кривая смещена на  $3^n$  единиц вверх относительно предыдущей, где  $n$  принимает значения от 1 до 8. Кривая при  $T = 0,4$  не смещена.

Помимо флуктуаций анализировалось поведение параметра порядка, отражающего различие в заполнении подрешеток частицами. В областях, близких к идеальным концентрациям  $1/3$  и  $2/3$  и при низких температурах, параметр порядка близок к единице. По мере приближения к критической температуре или границе упорядоченных фаз этот параметр прогрессивно уменьшается. При температурах вблизи и выше критической система проявляет более сложное фазовое поведение [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ciach A. Exactly solvable model for self-assembly of hard core - soft shell particles at interfaces / A. Ciach, J. Pekalski // *Soft Matter*. 2017. Vol. 13. P. 2603–2608.
2. Фазовая диаграмма решеточного флюида с SRLA-потенциалом на плоской треугольной решетке / Я. Г. Грода [и др.] // *Журнал Белорусского государственного университета. Физика*. 2019. №3. С. 81–91.
3. Landau D. P. Critical and multicritical behavior in a triangular-lattice-gas Ising model: Repulsive nearest-neighbor and attractive next-nearest-neighbor coupling // *Phys. Rev. B*. 1983. Vol. 27. P. 5604–5617.

Я. Г. Грода, доц., канд. физ.-мат. наук;  
 Д. В. Гапанюк, зам. декана ф-та ХТиТ, канд. физ.-мат. наук  
 (БГТУ, г. Минск)

## КРИТИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР РЕШЕТОЧНОГО ФЛЮИДА С ПРИТЯЖЕНИЕМ БЛИЖАЙШИХ И ОТТАЛКИВАНИЕМ ЧЕТВЕРТЫХ СОСЕДЕЙ НА КВАДРАТНОЙ РЕШЕТКЕ

Рассматриваемая модель представляет собой решеточный флюид, состоящий из  $n$  частиц на плоской квадратной решетке, содержащей  $N$  решеточных узлов. Частицы, занимающие ближайшие решеточные узлы и узлы, являющиеся соседями четвертого порядка, взаимодействуют друг с другом. Энергии взаимодействий равны  $J_1$  и  $J_4$  соответственно. При этом полагается, что  $J_1 < 0$ , а  $J_4 > 0$ , что соответствует притяжению ближайших соседей и отталкиванию третьих:

$$J_1 = -J, \quad J_4 = J^* J, \quad J^* = |J_4 / J_1|$$

Алгоритм моделирования данной системы по методу Монте-Карло (МК-моделирования) был подробно описан в работах [1, 2].

Предварительное моделирование на решетке, содержащей  $2^{12}$  решеточных узлов, показало, что при достаточно низких температурах, и соответственно высоких значениях параметра взаимодействия  $J/k_B T$ , в системе могут образовываться упорядоченные фазы двух различных типов, вид которых представлен на рисунке 1.

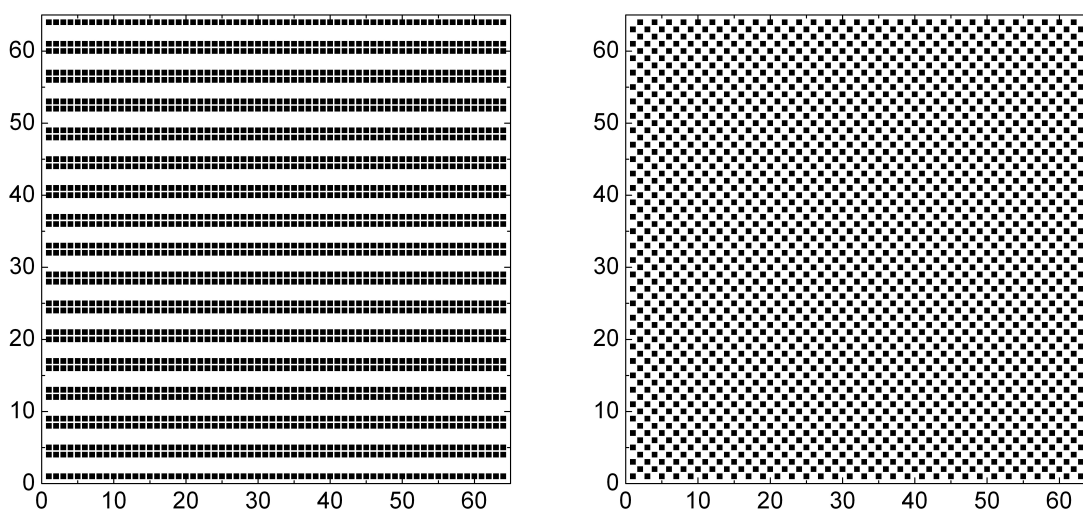


Рисунок 1 – Типы упорядоченных фаз в системе при  $c = 0,5$ ,  $J/k_B T_c = 2,0$ ,  $J^* = 1,2$  (левая панель) и  $2,5$  (правая панель)

Простейший аналитический анализ основного энергетического состояния исследуемой модели показал, что при  $J^* < 1,5$  в системе воз-

никает упорядоченное состояние, представляющее собой чередующиеся наборы из двух полностью заполненных и полностью пустых вертикальных либо горизонтальных полос. В тоже время при  $J^* > 1,5$  энергетически более выгодным является т.н. «шахматный» порядок, изображенный на правой панели рисунка 1.

Данные теоретические результаты были впоследствии полностью подтверждены в ходе МК-моделирования рассматриваемой системы и при конечных температурах.

Для обоих типов упорядоченных фаз может быть предложено разбиение исходной квадратной решетки на систему 16 идентичных квадратных подрешеток с постоянной  $4a$ , где  $a$  – решеточная постоянная исходной решетки. После определения средней концентрации частиц на каждой из введенных подрешеток параметр порядка системы может быть определен как

$$\delta c = 0,5(c_{\max} - c_{\min}),$$

где  $c_{\max}$  и  $c_{\min}$  – концентрации частиц на наиболее и наименее заполненных подрешетках, соответственно.

Для описания «шахматного» порядка может быть предложен более простой подход, в котором исходная решетка разбивается только на две подрешетки. При этом отнесение решеточного угла к одной из них определяется тем, является ли сумма координат решеточного узла четным либо нечетным целым числом. После этого также могут быть определены соответствующие подрешеточные концентрации  $c_{2k}$  и  $c_{2k+1}$ , а на их основе и параметр порядка

$$\delta c = 0,5|c_{2k} - c_{2k+1}|.$$

Анализ левой панели рисунка 1 однозначно свидетельствует о том, что второй подход к определению параметра порядка является менее универсальным. Введенный с его помощью параметр оказывается равным 0 даже в случае полной упорядоченности, если упорядоченное состояние соответствует чередованию из пустых и заполненных полос.

Тем не менее, наличие двух подходов к описанию упорядоченных состояний не только позволяет сравнить их результаты, но и дает возможность контролировать изменение типа упорядоченности в системе.

Проведенное МК-моделирование показало (см. рисунок 2), что в случае системы с  $J^* = 3$  параметр порядка возрастает при  $J / k_B T_c = 0,266$  для химического потенциала  $\mu = 10J$ , что соответствует средней концентрации  $c = 0,5$ .

Подобного рода возрастание параметра порядка соответствует фазовому переходу порядок-беспорядок, который является фазовым



переходом второго рода и подобен фазовому переходу в системах с отталкиванием ближайших соседей [3]. В этом случае величина 0,266 может быть интерпретирована как критический параметр системы.

Аналогичным образом может быть определен критический параметр системы и при иных значениях параметра  $J^* = 3$ , отвечающего различным типам упорядоченности системы. На рисунке 3 представлена зависимость безразмерной критической температуры модели от параметра  $J^* = 3$ .

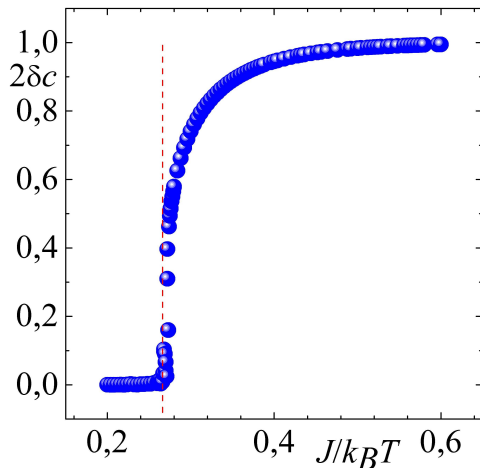


Рисунок 2 – Зависимость параметра порядка от параметра взаимодействия при  $\mu = 10J$  ( $c = 0,5$ ) и  $J^* = 3$

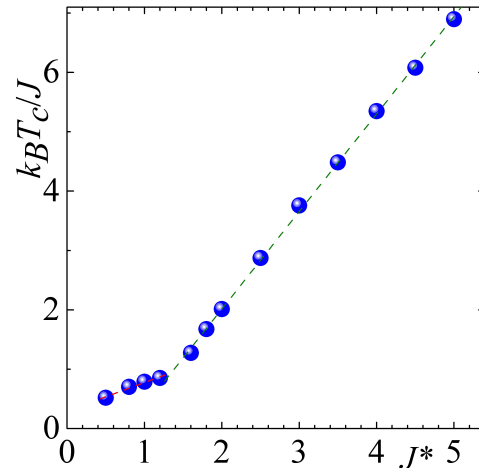


Рисунок 3 – Зависимость безразмерной критической температуры  $k_B T_c / J$  от параметра  $J^*$

Как видно из приведенного рисунка данная зависимость является приблизительно линейной при фиксированном типе упорядоченности системы и обладает ярко выраженной особенностью в окрестности  $J^* \approx 1,5$ . Данная точка, как было отмечено выше, соответствует изменению вида упорядоченного состояния системы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Groda, Ya.G. Equilibrium properties of the lattice system with SALR interaction potential on a square lattice: quasi-chemical approximation versus Monte Carlo simulation / Ya.G. Groda, V.S. Vikhrenko, D. di Caprio // Cond. Matt. Phys. – 2018. – Vol. 21, no. 4. – art. no. 43002 (10 p.).
2. Грода, Я.Г. Решеточный флюид с притяжением ближайших и отталкиванием третьих соседей на простой кубической решетке / Я.Г. Грода, В.С. Вихренко, Д. ди Каприо // Журнал БГУ. Физика. – 2019. – № 2. – С. 84–95.
3. Groda, Ya.G. SCDA for 3D lattice gases with repulsive interaction / Ya.G. Groda, P. Argyrakis, G.S. Bokun, V.S. Vikhrenko // The European Physical Journal B. – 2003. – Vol. 32. – P. 527–535.

## ТОЧНЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ МЕТОДАМИ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИКИ

Изучение когерентных квантовых состояний молекулярных сред в настоящее время актуально с целью использования их для лазерного управления химическими реакциями, создания квантовой связи, квантовых вычислений и др. Для решения уравнений, описывающих взаимодействие таких сред с излучением, наряду с традиционными методами математического анализа и дифференциальных уравнений можно также использовать методы дискретной математики, воплощенные в системах компьютерной алгебры.

В работе представлен и реализован алгоритм построения точного аналитического решения дифференциальных уравнений, описывающих когерентное возбуждение квантовой системы (модели молекулы) лазерным излучением, на примере трехуровневой модели. Для систем с большим числом переходов можно использовать систему компьютерной алгебры, реализующей символьные вычисления.

Уравнения в безразмерных переменных, описывающие возбуждение,

$$-i \frac{da_n(t)}{dt} = f_{n+1} e^{-i\varepsilon_{n+1}t} a_{n+1}(t) + f_n e^{+i\varepsilon_n t} a_{n-1}(t); a_n(t=0) = \delta_{n,0}; n = \overline{0, N}. \quad (1)$$

содержат искомые функции  $a_n(t)$  – амплитуды вероятности обнаружить систему на уровне  $n$  с энергией  $E_n$  пока действует излучение  $E_\ell \cos(\omega_\ell \tau)$ , включаемое в момент  $\tau = 0$ . Населенности  $\rho_n(t) = a_n(t) a_n^*(t)$  уровней образуют экспериментально определяемую дискретную функцию распределения молекул по энергии в любой момент времени. Здесь  $t = \Omega_R \tau$  – время,  $f_n = \mu_{n-1,1} / \mu_{0,1}$  – отношение дипольных моментов переходов,  $\varepsilon_n$  – частотные отстройки на переходах,  $\Omega_R = \mu_{0,1} E_\ell / 2\hbar$  – частота Раби нижнего перехода. При  $t = 0$  молекулы находятся на нижнем уровне, под действием излучения они рассеиваются по другим уровням. Излучение воздействует на два перехода  $0 \leftrightarrow 1$  и  $1 \leftrightarrow 2$ , т.е.  $N = 2$ .

Наша цель – построить решение для систем с неэквидистантными уровнями энергии, более близких к реальным молекулам, в то время

как используемые ранее классические ортогональные полиномы приводили к решению для систем с эквидистантными уровнями. Это удалось сделать.

Решение уравнений (1) ищем в виде (дискретного) преобразования Фурье:

$$a_n(t) = e^{is_n t} \sum_{\omega=0}^N F_n(\omega) e^{ir\omega t}; F_n(\omega) = \sigma(\omega) \hat{p}_0 \hat{p}_n(\omega); \omega = \overline{0, N} \quad (2)$$

Спектры Фурье  $F_n(\omega)$ , то есть Фурье-образы амплитуд вероятности  $a_n(t)$  квантовой системы, выражаются через некоторую последовательность ортонормированных полиномов  $\{\hat{p}_n(\omega)\}_{n=0}^N$  дискретного аргумента  $\omega$  и их весовую функцию  $\sigma(\omega)$ . Дискретность пространства Фурье функций  $a_n(t)$  продиктована физическими соображениями, и пусть это пространство имеет эквидистантно расположенный набор частот  $\omega$ .

Известно, что любая последовательность ортогональных полиномов удовлетворяет трехчленному рекуррентному соотношению, которое мы записываем в удобном для задачи виде

$$\bar{f}_{n+1} \hat{p}_{n+1}(\omega) + \bar{f}_n \hat{p}_{n-1}(\omega) = \{r\omega + s_n\} \hat{p}_n(\omega); n, \omega = \overline{0, N}; \bar{f}_0 = 0, \bar{f}_1 = 1, \quad (3)$$

его коэффициенты  $\bar{f}_n, r, s_n$  известны, если известны сами полиномы.

Подставляя (2) в (1), нетрудно получить, что (2) является решением системы уравнений при условиях

$$f_n = \bar{f}_n, \quad \varepsilon_n = s_n - s_{n-1}. \quad (4)$$

Эта взаимно-однозначная связь характеристик полиномов с коэффициентами уравнений (1) показывает, какая система полиномов согласуется с уравнениями (1) и адекватна квантовой системе, верно описывая ее Фурье спектры.

Рассмотрим пример. Начнем с пространства Фурье функций  $a_n(t)$  некоторой квантовой системы. Пусть оно будет дискретным и однородным  $\omega = \{0, 1, 2 = N\}$ , а спектры Фурье задаются функцией, которую возьмем в виде  $\sigma(\omega) = \{0.2; 0.3; 0.5\}$ , и примем ее в качестве весовой функции соответствующей системы ортогональных полиномов  $\{\hat{p}_n(\omega)\}_{n=0}^{N=2}$ . По известной стандартной процедуре строим систему полиномов  $p_0(\omega) \equiv 1; p_1(\omega) = \omega - 1.3; p_2(\omega) = 0.61\omega^2 - 1.31\omega + 0.3$ . Квадраты норм таковы:

$$d_n^2 = \sum_{\omega=0}^2 \sigma(\omega) p_n^2(\omega) = \{1; 0.61; 0.0732\}.$$

Нормированные полиномы  $\bar{p}_n(\omega) = p_n(\omega) / d_n$  вычислены точно. Из рекуррентного соотношения (3) находим все его коэффициенты:  $r = 1 / d_1$ ;  $\bar{f}_2 = d_2 / d_1^4$ ;  $s_0 = -1.3 / d_1$ ;  $s_1 = -0.517 / d_1^3$ ;  $s_2 = -0.52 / d_1^3$ . Согласно (2) спектры Фурье как и амплитуды вероятности  $a_n(t)$  могут быть вычислены точно:

$$\begin{aligned} a_0 &= e^{is_0 t} \{0.2 + 0.3e^{irt} + 0.5e^{i2rt}\}; \\ a_1 &= e^{is_1 t} \left(\frac{1}{d_1}\right) \{-0.26 - 0.09e^{irt} + 0.35e^{i2rt}\}; \\ a_2 &= e^{is_2 t} \left(\frac{1}{d_2}\right) \{0.06 - 0.12e^{irt} + 0.06e^{i2rt}\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Остается определить, динамику какой квантовой системы описывает решение (5). Согласно (4) коэффициенты уравнений (1) имеют вид  $f_1 = 1$ ;  $f_2 = d_2 / d_1^4 \approx 0.727$ ;  $\epsilon_1 = +0.276 r / d_1^2$ ;  $\epsilon_2 = -0.003 r / d_1^2$ . Видно, что соответствующая решению квантовая система такова, что второй ее переход в сравнении с первым имеет несколько меньший дипольный момент, т.е. слабее взаимодействует с излучением. Однако его собственная частота  $\omega_2$  почти совпадает с несущей частотой  $\omega_\ell$  излучения. Частотные отстройки не равны  $\epsilon_1 \neq \epsilon_2$ , т.е. собственные частоты переходов различны, значит уровни расположены неэквидистантно. Все характеристики системы определены.

Населенности уровней

$$\begin{aligned} \rho_0 &= 0.38 + 0.42 \cos rt + 0.2 \cos 2rt; \\ \rho_1 &= \left(\frac{1}{0.61}\right) \{0.1982 - 0.0162 \cos rt - 0.1820 \cos 2rt\}; \\ \rho_2 &= \left(\frac{1}{0.0732}\right) \{0.0216 - 0.0288 \cos rt + 0.0072 \cos 2rt\} \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом, представленный алгоритм позволил получить точное решение системы дифференциальных уравнений, описывающих возбуждение квантовой системы с неэквидистантным расположением энергетических уровней и неравными дипольными моментами ее радиационных переходов. При этом не потребовалось интегрирования уравнений.

Алгоритм позволяет, используя разнообразные весовые функции дискретного аргумента и соответствующие им структуры ортонормированных полиномов, строить аналитическое описание когерентной динамики разнообразных квантовых систем в лазерных полях.

УДК 517.977

А. А. Якименко, канд. физ.-мат. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

## К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОМ УСЛОВИИ МОДАЛЬНОЙ УПРАВЛЯЕМОСТИ СИСТЕМ НЕЙТРАЛЬНОГО ТИПА

Рассмотрим четырехмерную линейную систему нейтрального типа

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \\ \dot{x}_4(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} a_{111} & a_{112} & a_{113} & a_{114} \\ a_{121} & a_{122} & a_{123} & a_{124} \\ a_{131} & a_{132} & a_{133} & a_{134} \\ a_{141} & a_{142} & a_{143} & a_{144} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix} + \\ &+ \begin{bmatrix} a_{211} & a_{212} & a_{213} & a_{214} \\ a_{221} & a_{222} & a_{223} & a_{224} \\ a_{231} & a_{232} & a_{233} & a_{234} \\ a_{241} & a_{242} & a_{243} & a_{244} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t-h) \\ x_2(t-h) \\ x_3(t-h) \\ x_4(t-h) \end{bmatrix} + \\ &+ \begin{bmatrix} a_{311} & a_{312} & a_{313} & a_{314} \\ a_{321} & a_{322} & a_{323} & a_{324} \\ a_{331} & a_{332} & a_{333} & a_{334} \\ a_{341} & a_{342} & a_{343} & a_{344} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1(t-h) \\ \dot{x}_2(t-h) \\ \dot{x}_3(t-h) \\ \dot{x}_4(t-h) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t). \end{aligned} \quad (1)$$

Характеристический квазиполином системы (1) с нулевым управлением имеет вид

$$\sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^4 \alpha_{ij} \lambda^i e^{-j\lambda h}, \quad (2)$$

где  $\alpha_{ij} \in \mathbb{R}$  – числа, зависящие от коэффициентов системы (1),  $\alpha_{40} = 1$ .

Задача модального управления состоит в том, чтобы для любых наперед заданных чисел  $\beta_{ij}$ ,  $i = 1, 2, 3, 4, j = 1, 2, 3, 4$ ,  $\beta_{40} = 1$  найти такой линейный регулятор, что система (1), замкнутая этим регулятором, имеет характеристический квазиполином вида

$$\sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^4 \beta_{ij} \lambda^i e^{-j\lambda h}.$$

Регулятор будем искать в форме

$$u(t) = q'_{00}x(t) + \sum_{i=0}^L \sum_{j=1}^N q'_{ij}x^{(i)}(t-jh) + \int_{-h}^0 q'(s)x(t+s)ds, \quad (3)$$

в частотной области регулятор (3) примет вид

$$U(\lambda) = q'_{00} + \sum_{i=0}^L \sum_{j=1}^M q'_{ij}\lambda^i e^{-j\lambda h} + G'(\lambda). \quad (4)$$

Если ядро интегральной части регулятора  $G'(\lambda) \equiv 0$ , то регулятор (4) примет наиболее простой дифференциально-разностный вид. Однако задача модального управления при этом решается лишь в исключительных случаях. Пусть теперь  $G'(\lambda) \not\equiv 0$  и имеет вид

$$G'(\lambda) = [g_1 \quad g_2 \quad g_3 \quad g_4],$$

где

$$g_i = \sum_{j=1}^s \beta_{ij} \frac{\alpha_j(\lambda, e^{-\lambda h})}{(\lambda - \xi)^j}. \quad (5)$$

Справедливо следующее утверждение:

**Теорема.** Если система (1) модально управляема регулятором вида (3), (4), то число  $\xi \in \mathbb{C}$  в (5) является корнем многочлена степени не выше 12, коэффициенты которого однозначно выражаются через коэффициенты системы (1).

УДК 517.977

И. М. Борковская, канд. физ.-мат. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

## ОБ УСЛОВИЯХ СТАБИЛИЗИРУЕМОСТИ СКАЛЯРНЫХ ГИБРИДНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-РАЗНОСТНЫХ СИСТЕМ

Одним из важнейших вопросов в качественной теории управления является изучение возможности стабилизации систем. В докладе обсуждаются некоторые результаты исследования стабилизации скалярных гибридных дифференциально-разностных (ГДР) систем с помощью линейных регуляторов, построенных по типу обратной связи. Вводятся простейший регулятор, не выводящий систему за пределы заданного класса, и более общий регулятор с интегральными составляющими типа свертки.

Рассмотрим стационарную скалярную гибридную дифференци-

ально-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

$$x_1(0) = x_{10}, x_2(\tau) = \psi(\tau), \tau \in [0, h]. \quad (3)$$

Здесь  $x_1(t) \in \mathbb{R}$ ,  $x_2(kh) \in \mathbb{R}$ ,  $u(t) \in \mathbb{R}$ ,  $h > 0$ ,  $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}, b_1, b_2$  – действительные числа;  $u = u(\cdot)$  – внешнее (кусочно-непрерывное) воздействие – управление;  $\psi(\cdot)$  – начальная кусочно-непрерывная функция.

Под решением системы (1), (2) будем понимать непрерывную функцию  $x_1(\cdot)$  и кусочно-непрерывную функцию  $x_2(\cdot)$ , которые для всех  $t \geq 0$  удовлетворяют уравнению (2) и для почти всех  $t \geq 0$  удовлетворяют уравнению (1).

Такое решение начальной задачи (3) для каждого начального значения  $x_{10}$  и кусочно-непрерывной функции  $\psi(\cdot)$  существует, единственно и может быть найдено методом интегрирования системы (1)-(3) «по шагам».

Присоединим к системе следующие виды линейной обратной связи:

1) простейший регулятор

$$u(t) = Q_1x_1(t) + Q_2x_2(t), \quad (4)$$

не выводящий замкнутую систему за пределы рассматриваемого класса,

2) более общий регулятор с интегральными составляющими типа свертки

$$u(t) = Q_1x_1(t) + Q_2x_2(t) + \int_0^t Q_1(s)x_1(t-s)ds + \int_0^t Q_2(s)x_2(t+h-s)ds, \quad (5)$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  – действительные числа,  $Q_1(\cdot)$  и  $Q_2(\cdot)$  – кусочно-непрерывные функции с конечным носителем  $H > 0$ ,  $Q_1(\cdot) \equiv 0$ ,  $Q_2(\cdot) \equiv 0$  для  $t > H$ .

**Задача.** Исследовать задачу стабилизации системы (1), (2) в шкалах (4), (5), т. е. задачу отыскания регуляторов того или иного типа

(отыскания чисел  $Q_1, Q_2$ , функций  $Q_1(\cdot), Q_2(\cdot)$ ), при которых замкнутая система является устойчивой в том или ином смысле – асимптотически устойчивой, если не оговорено иное.

Можно показать, что верны следующие необходимые условия стабилизируемости.

**Теорема 1.** Если система является стабилизируемой в шкале (4) (или (5)), то

$$\text{rank} \begin{bmatrix} \lambda - a_{11} & -a_{12}e^{-\lambda h} & b_1 \\ -a_{21} & 1 - a_{22}e^{-\lambda h} & b_2 \end{bmatrix} = 2, \text{Re } \lambda > 0.$$

**Теорема 2.** Если система является стабилизируемой в шкале (4) (или (5)), то

$$\text{rank} [\lambda - a_{22} \quad b_2] = 1, \forall \lambda \in \mathbb{C}, |\lambda| < 1.$$

Показано, что необходимые условия стабилизации с помощью регулятора с интегральными составляющими типа свертки являются одновременно и достаточными. Получены также условия стабилизации системы простейшим регулятором.

Приводится пример системы, для которой не существует простейшего регулятора, позволяющего ее стабилизировать, но находится регулятор с интегральными элементами, решающий эту задачу.

Результаты могут быть применены при синтезе управляющих воздействий в реальных системах управления, описываемых дифференциально-разностными системами.

УДК 517.966

В. В. Игнатенко, канд. физ.-мат. наук, доц. (БГТУ, г. Минск);

В. В. Крахотко, канд. физ.-мат. наук, доц.;

Г. П. Размыслович, канд. физ.-мат. наук, доц. (БГУ, г. Минск)

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ Н-УПРАВЛЯЕМОСТИ ДЕСКРИПТОРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассмотрим систему управления

$$A_0 \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad t \geq 0, \quad (1)$$

с начальным условием  $x(0) = x_0$ , где  $x \in R^n$ ,  $u \in R^r$ ,  $A_0, A, B$  – постоянные матрицы соответствующих размеров,  $x_0 \in R^n$ ,  $\det A_0 = 0$ . Управление  $u(t), t \geq 0$ , достаточно гладкая  $r$ -мерная вектор-функция.

Пусть  $H$  – постоянная  $n \times n$  матрица.



**Определение 1.** Система (1) называется  $H$ -управляемой, если для каждого  $x_0(\cdot) \in \Omega_0$  существует момент времени  $t_1 < +\infty$  и гладкое управление  $u(t), t \in [0, t_1]$  такое, что  $x(0) = x_0$  и  $Hx(t_1) = 0$ .

**Определение 2.** Система (1) называется полностью  $H$ -управляемой, если для каждого  $x_0(\cdot) \in \Omega_0$  существует момент времени  $t_1 < +\infty$  и гладкое управление  $u(t), t \geq 0, t_1 < +\infty$  и гладкое управление  $u(t), t \geq 0$  такие, что решение  $x(t), t \geq 0$ , системы (1) обладает свойством  $x(0) = x_0$  и  $Hx(t) \equiv 0, t \geq t_1$ .

Можно показать, что траектории дескрипторных систем являются решениями специально сконструированных систем обыкновенных дифференциальных уравнений, для которых известны критерии управляемости.

Пусть система (1) удовлетворяет условию совместности [1]. Тогда ее решение может быть представлено в виде

$$x(t) = e^{A_0^d A t} A_0 A_0^d q + \int_0^t e^{A_0^d A(t-s)} A_0^d B u(s) ds + \\ + (E_n - A_0 A_0^d) \sum_{i=0}^{k-1} (-1)^i (A_0 A_0^d)^i A^d B u^{(i)}(t), \quad (2)$$

$$x(0) = x_0 = A_0 A_0^d q + (E_n - A_0 A_0^d) \times \sum_{i=0}^{k-1} (-1)^i (A_0 A_0^d)^i A^d B u^{(i)}(0), \quad (3)$$

где  $A_0^d$  и  $A^d$  обратные матрицы Драйзина [1] к матрицам  $A_0$  и  $A$  соответственно, число  $k$  – индекс матрицы  $A_0$ ,  $q \in R^n$ ,  $u^{(i)}(0) \in R^r, i = 0, 1, \dots, k-1$ .

В этом случае можно показать, что решение (2) системы (1) является выходом системы

$$\dot{Y} = \hat{A}Y + \hat{B}v, \quad x = CY \quad (4)$$

с начальным условием

$$Y(0) = Y_0 = (q, u^i(0), i = 1, 2, \dots, k),$$

где

$$Y = (y, u^1, \dots, u^k), \quad v = u^{(k)},$$

$$\hat{A} = (\hat{A}_{pq}), \quad \hat{B} = (\hat{B}_{p1}), \quad p = \overline{1, k+1}, \quad q = \overline{1, k+1}$$

представляют собой блочные-матрицы, кроме того

$$\hat{A}_{11} = A_0^d A, \hat{A}_{12} = A_0^d B; \hat{A}_{23} = \hat{A}_{34} = \dots = \hat{A}_{k k+1} = E_r, \hat{A}_{i j} = 0,$$

для всех остальных индексов  $p$  и  $q$   $\hat{B}_{k+1,1} = E^r, \hat{B} = 0, i = \overline{1, k}$  и

$$C = \left[ A_0 A_0^d, (E_n - A_0 A_0^d) A^d B, \dots, (-1)^{k-1} (E_n - A_0 A_0^d) (A_0 A_0^d)^{k-1} A^d B \right].$$

Мы полагаем, что

$$\Omega_0 = \left\{ z \in R^n \mid z = A_0 A_0^d q + (E_n - A_0 A_0^d) \times \right. \\ \left. \times \sum_{i=0}^{k-1} (-1)^i (A_0 A_0^d)^i A^d B u^{(i)}(0), q \in R^n, u^{(i)}(0) \in R^r, i = \overline{0, k-1} \right\}.$$

Для системы (1) запишем *определяющие уравнения* [2,3]

$$Y_{t+1} = A_0^d A Y_t + A_0^d B U_t^1, U_{t+1}^i = U_t^{t+1}, j = \overline{0, k-1}; \\ U_{t+1}^k = U_{t+k}, X_t = C \left[ Y_t, U_t^1, \dots, U_t^k \right], t \geq 0, \quad (6)$$

при условии, что

$$Y_t \equiv 0, t = 0, \dots, k-1, U_t \equiv 0, t \neq k; U_k = E_r.$$

Через  $X_t^*$  мы обозначим решение определяющих уравнений (6) с  $Y_1 = E_n$  и  $U_t \equiv 0, t \geq 0$ .

Тогда справедливы теоремы.

**Теорема 1.** Система (1) является  $H$ -управляемой тогда и только тогда, когда  $\text{rank} \left( H X_1^*, H X_i, i = \overline{1, n+k} \right) = \text{rank} \left( H X_i, i = \overline{1, n+k} \right)$ .

**Теорема 2.** Система (1) полностью  $H$ -управляема тогда и только тогда, когда  $\text{rank} \left( L, \bar{H} X_i, i = \overline{1, n+k} \right) = \text{rank} \left( L \bar{H} \right)$ ,

где

$$L = \begin{bmatrix} H X_k & \dots & H X_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ H X_{n+2k-1} & \dots & H X_{n+k} \end{bmatrix}, \\ \bar{H} = \begin{bmatrix} H X_1^* \\ \dots \\ H X_{n+k}^* \end{bmatrix}.$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Campbell S. L. Applications of the Drazin inverse to Linear systems of Differential equations with Singular constant Coefficients. // SIAM J. Appl. Math. – V.31, № 3. – 1976. – P. 411-425.

## О РАЗРАБОТКЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ДЕСКРИПТОРНЫМ СИСТЕМАМ

В качественной теории управления динамическими системами обычно рассматриваются линейные системы, разрешенные относительно производной, то есть системы вида

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t), \\ x(0) &= x_0\end{aligned}\tag{1}$$

с выходом

$$y(t) = Cx(t),\tag{2}$$

где  $x(t)$  –  $n$ -вектор состояния,  $u(t)$  –  $r$ -вектор управляющих воздействий,  $y$  –  $m$ -вектор выхода или наблюдаемых координат,  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – постоянные матрицы соответствующих размеров. Для них основные задачи качественной теории управления были рассмотрены и решены во второй половине XX века [1].

В последующие десятилетия в качественной теории управления активно изучаются более сложные виды систем, а именно, когда перед производной в системе (1) появляется матрица, которая может быть вырожденной или прямоугольной. Такие системы называют сингулярными [2], или дифференциально-алгебраическими [3, 7] или дескрипторными [4, 5, 6]. Последнее название наиболее широко распространено и, библиографический указатель работ по таким системам насчитывает на данный момент более двух с половиной тысяч наименований. По этим системам регулярно издаются монографии [6], проводятся специальные форумы с подготовкой на них подробных обзоров [7].

Понятно, что при этом возникает проблема дублирования работ и исследований, когда одни и те же задачи с небольшими изменениями изучаются в большом количестве статей или тезисов и материалов конференций. Поэтому возникла идея использовать современные возможности информационных технологий и разработать базу данных, которая позволит быстро находить публикации конкретного автора, даже если статья в соавторстве, выяснять число и годы публикаций по конкретным задачам для дескрипторных систем. Например, если надо выяснить современное состояние исследований по стабилизации или модальному управлению, управляемости или наблюдаемости, расще-

пимости или реконструкции, то это можно будет сделать достаточно быстро. Такая база данных позволит при переходе на изучение специальных классов дескрипторных систем, в частности, дескрипторных систем с запаздыванием, систем над коммутативными кольцами, нелинейных систем различных классов, систем с многомерным временем находить мгновенно список публикаций. Можно получить список научных журналов и конференций, где рассматриваются системы такого типа.

Конечно, сейчас в Интернете есть большое количество поисковых систем, но все они весьма широкого профиля, а в данной базе данных собраны почти все работы по дескрипторным системам за 40 лет [4, 5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Асмыкович И. К., Габасов Р., Кириллова Ф. М., Марченко В. М. Задачи управления конечномерными системами // Автоматика и телемеханика. – 1986. – №11. – С. 5-29.

2. Dai L. Singular Control Systems // Lecture Notes in Control and information Sciences, Vol.118. – Berlin, Springer-Verlag, 1989. – 439 p.

3. Чистяков В. Ф., Щеглова А. А. Избранные главы теории алгебро-дифференциальных систем. – Новосибирск : Сибирская издательская фирма РАН "Наука", 2003. – 320 с.

4. Дескрипторные системы управления: Библиогр. Указ. / АН БССР, Ин-т математики : Сост.: Р. Габасов, Ф. М. Кириллова, И. К. Асмыкович. – МН., 1988. – 38 с.

5. Асмыкович И. К. Некоторые задачи качественной теории управления для дескрипторных систем // Весці АН Беларусі. – Сер. фіз.-мат. навук. – 1996. – №4. – С.115.

6. Feng Yu, Yagoubi M. Robust Control of Linear Descriptor Systems Publisher : Springer Singapore, Mar. 2017.

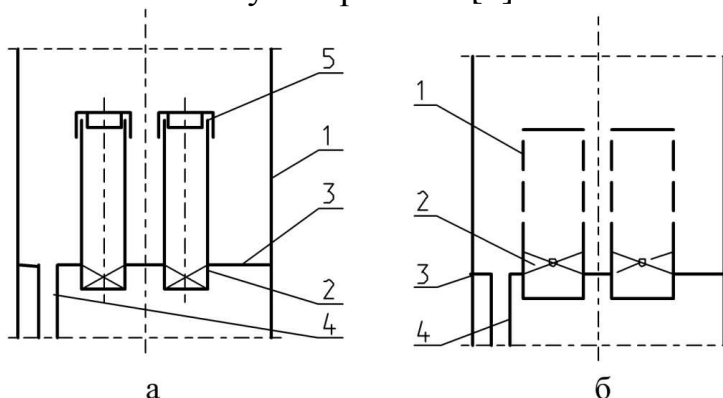
7. Ilchmann A., Reis T. Surveys in Differential-Algebraic Equations I-III Differential-Algebraic Equations Forum, Berlin, Heidelberg, Springer, 2013.

## РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРА КАПЕЛЬ СЕПАРИРУЕМОЙ ЖИДКОСТИ

**Введение.** Разделение газожидкостных потоков является достаточно важной и технически сложной задачей.

Задача предотвращения уноса капель жидкости с газовым потоком актуальна при выпарке, абсорбции, ректификации, мокрой очистке газов, промышленной подготовке добываемого природного газа [1] и других процессах. Для очистки газов от капельной жидкости наиболее эффективными являются центробежные сепараторы [2]. В данных конструкциях отделение частиц жидкости происходит под действием центробежной силы, величина которой может превосходить силу тяжести на два порядка.

На рисунке 1 схематично представлены некоторые конструкции аппаратов элементного типа, разработанные в Белорусском государственном технологическом университете [3].



**Рисунок 1 – Центробежные сепараторы элементного типа:**

**а** – сепарационные элементы с отводам жидкости через зазор в верхней части; **б** – сепарационные элементы с отводам жидкости через щели сетчатого патрубка; 1 – патрубок; 2 – многолопастный завихритель; 3 – тарелка; 4 – сливная труба; 5 – отбойный колпачек

Центробежные сепарирующие устройства включают центробежные патрубки, установленные на общей тарелке. В нижней части они снабжены завихрителем газового потока, в верхней – устройством для отделения жидкой фазы. Центробежные сепарационные элементы работают в режиме восходящего прямотока. Завихрители чаще всего выполняются лопастными или в виде тангенциальных прорезей. Устройства для отделения жидкостей – колпачек, боковые прорези, сетчатая поверхность.

**Математическая модель.** Гидродинамика установившегося движения закрученного газового потока внутри цилиндра радиуса описывается уравнениями Навье – Стокса и неразрывности в цилиндрической системе координат  $r, \phi, z$  [4]. Найденные профили осевой и касательной составляющих скорости являются осе симметричными и имеют явно выраженный максимум и сохраняют подобие вдоль оси цилиндра.

Движение капельной жидкости в сепарационном элементе с учетом геометрических и гидродинамических параметров в достаточно точной степени можно рассчитать по уравнениям (1)

$$\begin{cases} m_a \left( \frac{dV_r}{dt} - \frac{V_\phi^2}{r} \right) = F_r, \\ m_a \left( \frac{dV_\phi}{dt} + 2 \frac{V_\phi V_r}{r} \right) = F_\phi, \\ m_a \frac{dV_z}{dt} = -m_a g + F_z. \end{cases} \quad (1)$$

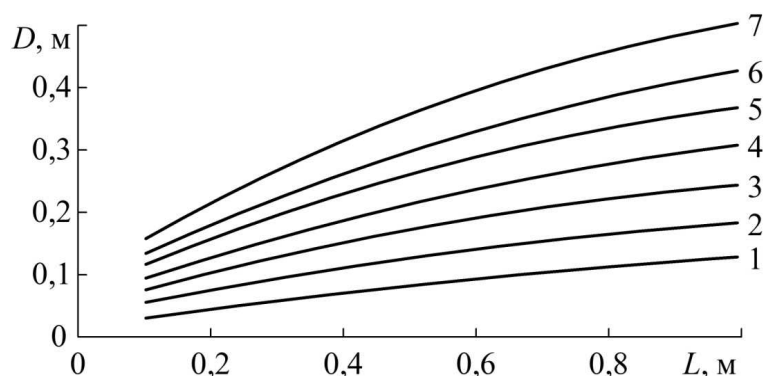
Данная система уравнений описывает движение частицы в закрученном газовом потоке. Принимается, что частицы имеют сферическую форму радиуса  $a$ , плотностью  $\rho_a$ , массой  $m$ . Скорость частицы обозначается через  $V$ , а скорость газового потока через  $W$ .

Ось  $Oz$  направлена вертикально вверх по оси сепарационного элемента. При составлении и решении уравнений сделан ряд обоснованных допущений. В составленную систему уравнений входит сила тяжести и сила гидродинамического воздействия [5].

**Результаты расчета.** Полученный анализ сил позволил рассчитать траекторию движения жидких частиц в газовом потоке и оценить эффективность сепарации.

При решении уравнений определяли минимальный диаметр капель, которые могут достигнуть стенки сепарационного элемента в зависимости от диаметра элемента  $D$ , длины элемента  $L$ , угла наклона лопастей завихрителя  $\alpha$ , средней расходной скорости газа в элементе  $W_z$ , вязкости газа  $\mu_r$ , плотности газа  $\rho_r$  и жидкости  $\rho_j$ . При выполнении расчетов были приняты следующие значения:  $D_{\text{п}} = 0,1$  м;  $L = 0,3 - 1$  м;  $\alpha = 30^\circ$ ;  $\rho_r = 0,6$  кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_r = 0,000013$  Нс/м<sup>2</sup>;  $\rho_j = 1200$  кг / м<sup>3</sup>.

Результаты решения уравнений (1) представлены на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Зависимость минимального диаметра улавливаемых капель от геометрических размеров сепарационного элемента:  
1-3 мкм; 2-5 мкм; 3-7 мкм; 4-9 мкм; 5-11 мкм; 6-13 мкм; 7-25 мкм**

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тронов В. П. Сепарация газа и сокращение потерь нефти. – Казань : «Фен», 2002. – 408 с.
2. Шкоропад Д. Е, Новиков О. П. Центрифуги и сепараторы для химических производств. – М. : Химия, 1987. – 256 с.
3. Левданский Э. И., Левданский А. Э. Высокоэффективные проточные процессы и аппараты. – Минск : БГТУ. – 2001. – 234 с.
4. Марков В. А., Волк А. М., Ершов А. И. Исследование оттока жидкости через отверстия прямоточно-центробежного элемента // Инженерно-физический журнал : 1991. – Т. 61, № 1. – С. 82-87.
5. Волк А. М., Терешко Е. В. Анализ сил, действующих на твердую частицу в сплошном потоке // Труды БГТУ. – 2015. – № 6: Физ.-мат. науки и информатика. – С. 10-14.

УДК 517.968

Л. Д. Яроцкая, канд. физ.-мат. наук, доц.;  
О. Н. Пыжкова, канд. физ.-мат. наук, доц.  
(БГТУ, г. Минск)

#### **СВЯЗЬ ИНТЕГРАЛА КОНТОРОВИЧА–ЛЕБЕДЕВА С ИНТЕГРАЛОМ ТИПА КОШИ**

Интегральные преобразования являются одним из важнейших математических инструментов при решении интегральных и сходных с ними уравнений. С их помощью простые уравнения непосредственно сводятся к линейным алгебраическим уравнениям, а более сложные – к линейным краевым задачам аналитических функций. В частности, уравнения типа свертки Фурье рассмотрены в книге [1]. При решении краевых задач теории аналитических функций комплексного пере-

менно применяются интеграл типа Коши и различные его обобщения [2].

Пусть  $F(\tau)$  – интегрируемая на контуре  $L$  (замкнутом или разомкнутом) функция. Интеграл

$$\frac{1}{2\pi i} \int_L \frac{F(\tau)}{\tau - z} d\tau$$

называется *интегралом типа Коши*. Он определяет функцию, аналитическую в плоскости с разрезом по контуру  $L$ . В случае прямой

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(\tau)}{\tau - z} d\tau = \begin{cases} F^+(z), & \text{Im } z > 0, \\ F^-(z), & \text{Im } z < 0. \end{cases}$$

Если плотность  $F(\tau)$  принадлежит пространству  $L_2(\mathbb{R})$  и удовлетворяет условию Гельдера, то существуют предельные значения функций  $F^\pm(z)$  на действительной оси и они связаны с плотностью  $F$  интеграла формулами, носящими имя Ю. В. Сохоцкого [2]:

$$F^+(x) = \frac{1}{2} F(x) + \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(\tau)}{\tau - x} d\tau,$$

$$F^-(x) = -\frac{1}{2} F(x) + \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(\tau)}{\tau - x} d\tau$$

или

$$F^+(x) - F^-(x) = F(x), \quad F^+(x) + F^-(x) = \frac{1}{\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(\tau)}{\tau - x} d\tau.$$

Интегралы в последних формулах понимаются как особые в смысле главного значения.

Интеграл Конторовича – Лебедева от  $f(t)$  рассмотрим в виде следующей функции параметра  $\tau$ :

$$F(\tau) = \int_0^{\infty} K_{i\tau}(t) f(t) dt, \quad -\infty < \tau < \infty, \quad (1)$$

где  $K_{i\tau}(x)$  – функция Макдональда – одно из линейно независимых решений  $u(x)$  дифференциального уравнения Бесселя

$$u'' + \frac{1}{x} u' - \left(1 - \frac{\tau^2}{x^2}\right) u = 0.$$



Отметим интегральное представление для функции Макдональда [3]:

$$K_{i\tau}(x) = \int_0^{\infty} e^{-x\text{ch}u} \cos(\tau u) du. \quad (2)$$

Интеграл (1) возникает в известном в литературе интегральном разложении произвольной функции, записанной в виде аналогов интеграла Фурье

$$xf(x) = \frac{2}{\pi^2} \int_0^{\infty} \tau \text{sh}(\pi\tau) K_{i\tau}(x) d\tau \int_0^{\infty} K_{i\tau}(y) f(y) dy.$$

Данное представление порождает пару преобразований Контровича – Лебедева, причем интегрирование в одной из формул осуществляется по индексу специальной функции, входящей в ядро. Установлено [4], что все известные в литературе преобразования по индексу композиционно связаны с (1) в силу универсальности структуры их ядер, относящихся к гипергеометрическим функциям.

Обозначим через  $L_{\nu,2}(\mathbb{R}_+)$  пространство суммируемых с квадратом функций со степенным весом, норма которого определяется формулой

$$\|f\|_{\nu,2} = \left( \int_0^{\infty} x^{2\nu-1} |f(x)|^2 dx \right)^{1/2}.$$

Заметим, что в случае  $\nu = 1/2$  пространство  $L_{\nu,2}(\mathbb{R}_+)$  совпадает с пространством  $L_2(\mathbb{R}_+)$ .

Функция комплексного переменного  $F(z)$ , определяемая интегралом

$$F(z) = \int_0^{\infty} K_{iz}(t) f(t) dt, \quad (3)$$

будет аналитической в той области комплексной плоскости  $z = x + iy$ , где подынтегральная функция в (3) имеет непрерывную производную по параметру  $z$  и интеграл от нее равномерно сходится. Используя формулу [4]:

$$K_{iz}(x) = \frac{1}{2} \int_{i\delta-\infty}^{i\delta+\infty} e^{-x\text{ch}\beta + iz\beta} d\beta, \quad \delta \in \left[ 0, \frac{\pi}{2} \right), \quad (4)$$

оценивая  $F'(z)$  с помощью обобщенного неравенства Минковского, можно показать, что  $F(z)$  – аналитическая функция в полосе  $|\operatorname{Im} z| < 1 - \nu$ , если  $f(x) \in L_{\nu,2}(\mathbb{R}_+)$ ,  $0 < \nu < 1$ .

Пусть  $f(x) \in L_2(\mathbb{R}_+)$ . Показано [4], что функция, представимая интегралом Конторовича – Лебедева (1), исчезает на бесконечности и является бесконечно дифференцируемой функцией и, следовательно, удовлетворяет условию Гёльдера с любым показателем  $\lambda \leq 1$ . Установим связь интеграла (3) с интегралом типа Коши с плотностью  $F(\tau)$  по оси. Тогда

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(\tau)}{\tau - z} d\tau = \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d\tau}{\tau - z} \int_0^{\infty} K_{i\tau}(t) f(t) dt.$$

Воспользовавшись представлением (4) при  $\delta = 0$ , в силу абсолютной сходимости поменяв порядок интегрирования в полученном повторном интеграле, можем представить интеграл типа Коши в следующем виде:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(\tau)}{\tau - z} d\tau = \\ & = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} f(t) dt \int_{-\infty}^0 e^{-t\operatorname{ch}u} du \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{i\tau u}}{\tau - z} d\tau + \\ & + \frac{1}{2} \int_0^{\infty} f(t) dt \int_0^{\infty} e^{-t\operatorname{ch}u} du \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{i\tau u}}{\tau - z} d\tau. \end{aligned}$$

Величина внутреннего интеграла по  $\tau$  будет различной в зависимости от того, какой знак имеет действительный параметр  $u$  и в какой полуплоскости лежит комплексный параметр  $z$ . Применяя лемму Жордана, а затем теорему о вычетах, будем иметь при  $u > 0$

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{i\tau u}}{\tau - z} d\tau = \begin{cases} e^{izu}, & \operatorname{Im} z > 0, \\ 0, & \operatorname{Im} z < 0, \end{cases}$$

при  $u < 0$

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{i\tau u}}{\tau - z} d\tau = \begin{cases} 0, & \operatorname{Im} z > 0, \\ -e^{izu}, & \operatorname{Im} z < 0. \end{cases}$$

Рассмотрим два случая:

1) пусть  $\operatorname{Im} z > 0$ , тогда

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(\tau)}{\tau - z} d\tau = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} f(t) \int_0^{\infty} e^{-t\operatorname{ch}u + iuz} du dt;$$

2) пусть  $\operatorname{Im} z < 0$ , тогда

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(\tau)}{\tau - z} d\tau = -\frac{1}{2} \int_0^{\infty} f(t) \int_{-\infty}^0 e^{-t\operatorname{ch}u + iuz} du dt.$$

Поскольку интеграл типа Коши представляет собой аналитическую функцию в плоскости с разрезом по действительной оси, то функции, определенные по формулам

$$F^+(z) = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} f(t) \int_0^{\infty} e^{-t\operatorname{ch}u + iuz} du dt, \quad F^-(z) = -\frac{1}{2} \int_0^{\infty} f(t) \int_{-\infty}^0 e^{-t\operatorname{ch}u + iuz} du dt,$$

будут аналитическими соответственно в верхней и нижней полуплоскостях. Кроме того, можно записать аналоги формул Сохоцкого

$$F^+(x) - F^-(x) = \int_0^{\infty} f(t) \int_0^{\infty} e^{-t\operatorname{ch}u} \cos(ux) du dt = F(x),$$

$$F^+(x) + F^-(x) = i \int_0^{\infty} f(t) \int_0^{\infty} e^{-t\operatorname{ch}u} \sin(ux) du dt = i \int_0^{\infty} f(t) M_{ix}(t) dt.$$

Отметим, что функция  $M_{ix}(t)$  рассматривалась в [6] в качестве ядра интегрального преобразования по индексу. Полученные результаты могут быть применены для решения интегральных уравнений в свертках, которые с помощью преобразования Конторовича – Лебедева могут быть сведены к краевой задаче Римана для полуплоскости в классе функций, исчезающих на бесконечности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гахов Ф. Д., Черский Ю. И. Уравнения типа свертки. М.: Наука, 1978. 296 с.
2. Гахов Ф. Д. Краевые задачи. М.: Наука, 1977. 640 с.
3. Бейтмен Г., Эрдейи А. Высшие трансцендентные функции. Функции Бесселя, функции параболического цилиндра, ортогональные многочлены. М.: Наука, 1974. 296 с.
4. Yakubovich S. B. Index transforms. Singapore: World Scientific Publ., 1996. 252 p.
5. Яроцкая Л. Д. Об уравнении с двумя ядрами типа свертки Конторовича – Лебедева // Труды БГТУ. 2016. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 31–35.

О. Н. Пыжкова, канд. физ.-мат. наук, доц. ;  
(БГТУ, г. Минск)

С. В. Пономарева, канд. физ.-мат. наук, доц.  
(БГУ, г. Минск)

## ОЦЕНКА РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ДРОБНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Будем рассматривать аналог задачи Коши для дифференциального уравнения с дробной производной Римана–Лиувилля  $D^\alpha$  порядка  $\alpha$ ,  $0 < \alpha < 1$  на конечном отрезке  $[0, T]$  действительной оси

$$\begin{cases} D^\alpha x(t) = f(t, x(t)), \\ \lim_{t \rightarrow 0} t^{1-\alpha} x(t) = \xi, \end{cases}$$

где дробная производная Римана–Лиувилля определяется равенством (см.[1])

$$D^\alpha x(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \left( \frac{d}{dt} \right)^t \int_0^t \frac{x(s) ds}{(t-s)^\alpha}.$$

Функцию  $f(s, u)$  будем предполагать непрерывной по совокупности переменных на множестве  $(0, T] \times (-\infty, \infty)$ .

Вопрос о разрешимости аналога задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений с дробными производными Римана–Лиувилля с подлинейной (выполнено условие подлинейности  $|f(t, u)| \leq \mu(t) + \nu(t)|u|$  ( $0 < t \leq T$ ,  $-\infty < u < \infty$ ),) по функциональному аргументу правой частью рассматривался в [2], с неограниченной правой частью, но уже на ограниченном отрезке в [3] (в весовом пространстве  $C_{1-\alpha}[0, T]$  определенных на отрезке  $[0, T]$  и непрерывных на  $(0, T]$  функций  $x(t)$ , для которых существует предел

$x(*) = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{x(t)}{t^{\alpha-1}}$  с нормой  $\|x\|_{\alpha-1} = \sup_{0 < t \leq T} t^{1-\alpha} |x(t)|$ ). В указанных работах

приводятся условия разрешимости рассматриваемой задачи в данных функциональных пространствах, а также условия существования единственного решения.

С помощью обобщения леммы Гронуолла-Беллмана попытаемся получить двусторонние оценки решений задачи Коши. Для этого ограничим класс рассматриваемых функций только положительными весовыми функциями.

**Теорема.** Пусть положительная функция  $x(t)$  из пространства  $C_{1-\alpha}[0, T]$  удовлетворяет неравенству  $x(t) \leq x(\tau) + \int_{\tau}^t f(s)x(s)|ds|$ , где  $f(t) \in C(0, T]$ ,  $f(t) \geq 0$  при  $0 < t < T$ ,  $t, \tau \in (0, T)$ . Тогда при  $0 < t_0 \leq t < T$  справедлива двусторонняя оценка

$$x(t_0) \exp \left\{ - \int_{t_0}^t f(s) ds \right\} \leq x(t) \leq x(t_0) \exp \left\{ \int_{t_0}^t f(s) ds \right\}.$$

#### 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. Забрейко П. П., Пономарева С. В. О разрешимости задачи Коши для уравнений с дробными производными Римана-Лиувилля // Доклады НАН Беларуси, 62 (2018). – №4. – С. 391-397.
3. Забрейко П. П., Пономарева С. В. О решении задачи Коши с неограниченной правой частью для уравнений дробного порядка // Доклады НАН Беларуси, (2020, в печати).

УДК 517.984

О. А. Архипенко, ассист. (БГТУ, г. Минск)

#### О СПЕКТРАХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ РАЗНОСТНЫХ УРАВНЕНИЙ

В работе рассматриваются в пространстве  $L_2(\mathbb{R})$  разностные уравнения вида

$$a(x)u(x+1) - \lambda u(x) = f(x), x \in \mathbb{R}. \quad (1)$$

где  $a$  – заданная функция, для которой существуют

$$\lim_{k \rightarrow \pm\infty} a(k) = a(\pm\infty). \quad (2)$$

При выполнении условия

$$|a(-\infty)| < |\lambda| < |a(+\infty)| \quad (3)$$

однородное уравнение имеет бесконечномерное пространство решений, поэтому для получения единственности решения к уравнению нужно присоединить краевое условие, а именно, задать

подпространство  $L$  таким образом, чтобы для любого  $f$  существовало решение, при том единственное, принадлежащее пространству  $L$ .

Мы рассматриваем подпространства вида

$$L_{\eta} = \{u \in L_2(\mathbb{R}) : \sum_{k=-\infty}^{\infty} \eta_k(\tau) u(k + \tau) = 0 \forall \tau \in [0;1]\}, \quad (4)$$

где  $\eta_k(\tau)$  – заданные функции и краевые задачи, заданные условием

$$u \in L_{\eta}. \quad (5)$$

Нахождение решения этой задачи эквивалентно построению правосторонней резольвенты для оператора взвешенного сдвига  $B$  состоящей из операторов, образы которых совпадают с подпространством  $L_{\eta}$ .

Исследование вышепоставленной краевой задачи сводится к рассмотрению семейства разностных уравнений

$$a(k + \tau)u(k + 1 + \tau) - \lambda u(k + \tau) = f(k + \tau) \quad (6)$$

с краевыми условиями  $u \in L_{\eta}$ ,  $\eta = (\dots, \eta_{-1}, \eta_0, \eta_1, \dots)$ , где

$$L_{\eta} = \{u \in L_2(\mathbb{R}) : \sum_{k=-\infty}^{\infty} \eta_k(\tau) u_{\tau}(k + \tau) = 0\}. \quad (7)$$

Условия разрешимости исходной задачи (1), (5) мы получаем на основе условия разрешимости вспомогательных задач вида (6), приведенных в [1]. Эти условия выполнены не для всех  $\lambda$ , удовлетворяющих (3), и в результате возникает спектр задачи, то есть множество  $\lambda$ , при которых нет разрешимости задачи (1), (5).

В частности, если только конечное число коэффициентов  $\eta_k(\tau)$  отлично от нуля, то спектр каждой вспомогательной задачи состоит из конечного числа точек, а спектр исходной задачи состоит из конечного числа замкнутых или разомкнутых кривых.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Архипенко О. А. Краевые задачи для разностных уравнений // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. – Минск : БГТУ, 2018. – 1(206). – С. 12-18.

## СКОШЕННОЕ АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

Пусть распределение  $f$  ассоциировано с самоподобной рациональной мнемофункцией

$$f_\varepsilon(x) = \sum_{k=1}^{n^+} \sum_{j=1}^{p_k^+} \frac{B_{kj}^+}{(x - \xi_k \varepsilon)^j} - \sum_{k=1}^{n^-} \sum_{j=1}^{p_k^-} \frac{B_{kj}^-}{(x - \eta_k \varepsilon)^j}, \quad \text{Im } \xi_k < 0, \text{Im } \eta_k > 0, \quad (1)$$

т.е.  $f$  является пределом в пространстве распределений  $D'(\mathbb{R})$  семейства  $f_\varepsilon(x)$ . В силу того, что стремление к нулю полюсов каждой рациональной функции в (1) осуществляется по своей наклонной прямой (в отличие от классического аналитического представления [1], где полюсы рациональных функций стремятся к нулю по вертикальным прямым), (1) будем называть *скошенным аналитическим представлением распределения  $f$* .

Представление (1) устанавливает изоморфизм  $R_{sl}$  между множеством пар рациональных функций

$$\left\{ \left( \sum_{k=1}^{n^+} \sum_{j=1}^{p_k^+} \frac{B_{kj}^+}{(z - \xi_k)^j}, \sum_{k=1}^{n^-} \sum_{j=1}^{p_k^-} \frac{B_{kj}^-}{(z - \eta_k)^j} \right) : \text{Im } \xi_k < 0, \text{Im } \eta_k > 0 \right\}$$

и алгеброй  $A_{as}(\mathbb{R})$ , порожденной самоподобными рациональными мнемофункциями. При таком подходе правило умножения для простейших элементов алгебры описывается следующим образом.

**Лемма 1.** Пусть  $\text{Im } \xi < 0$  и  $\text{Im } \eta > 0$ . Тогда произведение мнемофункций  $R_{sl}\left(\frac{1}{z-\xi}, 0\right)$  и  $R_{sl}\left(0, -\frac{1}{z-\eta}\right)$  находится по формуле

$$R_{sl}\left(\frac{1}{z-\xi}, 0\right) R_{sl}\left(0, -\frac{1}{z-\eta}\right) = c(\xi; \eta; \varepsilon) \left( R_{sl}\left(\frac{1}{z-\xi}, 0\right) - R_{sl}\left(0, -\frac{1}{z-\eta}\right) \right),$$

где  $c(\xi; \eta; \varepsilon) = \frac{1}{\varepsilon(\xi - \eta)}$ .

**Лемма 2.** Пусть  $\text{Im } \xi_1, \text{Im } \xi_2 < 0$ . Тогда произведение  $R_{sl}\left(\frac{1}{z-\xi_1}, 0\right) R_{sl}\left(\frac{1}{z-\xi_2}, 0\right)$  ассоциировано с распределением  $P\left(\frac{1}{x^2}\right) + i\pi\delta'$ .

Произведение  $R_{sl}\left(0, -\frac{1}{z-\eta_1}\right)R_{sl}\left(0, -\frac{1}{z-\eta_2}\right)$ , где  $\text{Im}\eta_1, \text{Im}\eta_2 > 0$ , ассоциировано с распределением  $P\left(\frac{1}{x^2}\right) - i\pi\delta'$ .

Приведенные в леммах 1 и 2 соотношения позволяют получить явное описание алгебры  $A_{as}(\mathbb{R})$ , которое содержится в следующем утверждении.

**Теорема 1.** *Элементы вида  $R_{sl}\left(\frac{1}{z-\xi}, 0\right)$  и  $R_{sl}\left(0, -\frac{1}{z-\eta}\right)$  являются образующими в алгебре  $A_{as}(\mathbb{R})$ , и произведение элементов алгебры однозначно определяется соотношениями, описанными в леммах 1 и 2.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бремерман Г. Распределения, комплексные переменные и преобразования Фурье. Москва: Мир, 1968.
2. Шагова Т. Г. Самоподобные рациональные мнемофункции и их связь с аналитическим представлением распределений // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2019. – Т.55, №3. – С. 288-298.

УДК 519.626.2

И. Ф. Соловьева, канд. физ.-мат. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

## **ОБ ОДНОМ ИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННЫХ ДВУХТОЧЕЧНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ**

Более ста лет прошло с основания теории пограничного слоя, однако, данная тема является актуальной и в наши дни. Это открытие принадлежит Людвигу Прандтлю. Он первый сформулировал и обосновал большую часть развития теории пограничного слоя.

Краевые задачи с малым параметром при старшей производной являются математическими моделями с очень сложным характером поведения решений. Решение такого рода задач быстро меняется вблизи граничных точек, то есть здесь мы наблюдаем наличие пограничных слоев.

Причина трудностей решения таких задач заключается не только в нелинейности большинства задач с пограничным слоем, хотя в результате этого тоже возникают определенные проблемы, но и в том, что очень малый параметр  $\varepsilon$  стоит возле старшей производной.

Рассмотрим двухточечные краевые задачи, являющиеся математическими моделями диффузионно-конвективных процессов. Для



обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка с малым параметром  $\varepsilon > 0$  при старшей производной они представимы в виде

$$\begin{cases} \varepsilon y''(x) + a(x)y'(x) - b(x)y(x) = f(x), \\ y(0) = A, \quad y(1) = B, \quad 0 < x < 1. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} -\varepsilon y''(x) + b(x)y(x) = f(x), \\ y(0) = A, \quad y(1) = B, \quad 0 < x < 1. \end{cases} \quad (2)$$

Диффузионным является слагаемое, содержащее производную второго порядка, а конвективным – слагаемое, содержащее производную первого порядка.

Первая из задач (1) является задачей с одним пограничным слоем, а задача (2) – задачей с двумя пограничными слоями.

Задачи такого вида получили название сингулярно возмущенных. Их решение быстро изменяется вблизи граничных точек, оно начинает неограниченно возрастать, что влечет за собой появление пограничных слоев, а, следовательно, и неустойчивость данного численного процесса.

Для численного решения краевых задач с пограничным слоем вида (1), (2) предлагается модификация метода дифференциальной ортогональной прогонки с введением в зонах пограничных слоев соответствующих регулирующих множителей. Этот метод позволяет применять единый подход к решению краевых задач с одним и двумя пограничными слоями.

Краевые задачи вида (1), (2) представим в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{cases} y_1' = y_2, \\ y_2' = \frac{f(x)}{\varepsilon} - \frac{a(x)}{\varepsilon} y_1 + \frac{b(x)}{\varepsilon} y, \quad 0 < x < 1, \quad \varepsilon > 0, \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} y_1' = y_2, \\ y_2' = -\frac{f(x)}{\varepsilon} + \frac{b(x)}{\varepsilon} y_1, \quad 0 < x < 1, \quad \varepsilon > 0 \end{cases} \quad (4)$$

и граничными условиями вида

$$y_1(0) = A, \quad y_2(0) = B.$$

Введем в системы о. д. у. (3), (4) множители  $m_2(x, \varepsilon) > 0$ ,

$m_1(x, \varepsilon) > 0$ , регулирующие поведение функций  $y(x)$  и  $y'(x)$ . При их выборе учитываем, чтобы произведения  $m_1(x, \varepsilon)y_1(x)$ ,  $m_2(x, \varepsilon)y_2(x)$  были в необходимой мере стабилизированы.

Исходную граничную задачу представим в виде совокупности трех соответствующих задач Коши для функций  $Q(x)$ ,  $u(x)$ ,  $v(x)$ . При решении задач Коши для функций  $Q(x)$  и  $u(x)$  применим прямой ход метода дифференциальной ортогональной прогонки. Проведя решение задачи Коши до конечной граничной точки, получаем начальное значение для функции  $v(x)$  и осуществляем обратный ход прогонки для решения задачи последней задачи Коши. При этом движение идет с конца отрезка, а начальные условия уже получены за счет прямого хода прогонки.

Реализованные в предлагаемой модификации задачи Коши являются благоприятными в вычислительном отношении. При этом каждая задача Коши решается по формулам известных хорошо работающих численных методов, например, Рунге-Кутта, а также В-устойчивых и Д-устойчивых методов.

Решив три задачи Коши методом Рунге-Кутта четвертого порядка, и найдя функцию  $Q(x)$  и новые неизвестные функции  $u(x)$ ,  $v(x)$ , получим выражение для  $y(x)$  и  $y'(x)$ :

$$\begin{aligned} m_1(x, \varepsilon)y_1(x) &= \sin Q(x)u(x) + \cos Q(x)v(x), \\ m_2(x, \varepsilon)y_2(x) &= \cos Q(x)u(x) - \sin Q(x)v(x). \end{aligned} \quad (5)$$

Предложенная модификация метода дифференциальной ортогональной прогонки позволяет избежать решения громоздких систем уравнений.

Пример. Рассмотрим краевую задачу с одним пограничным слоем.

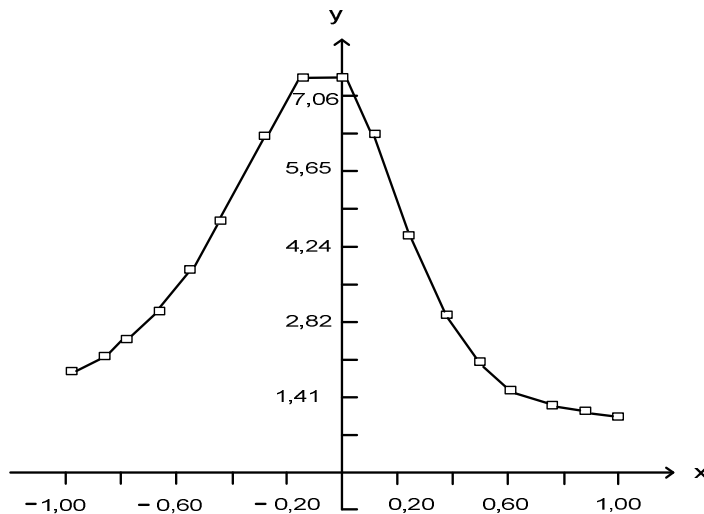
$$\varepsilon y''(x) + 2xy'(x) + (1 + x^2)y(x) = 0$$

с краевыми условиями вида:

$$y(-1) = 2, \quad y(1) = 1, \quad \varepsilon = 0,01.$$

Задача решалась по предложенной модификации метода дифференциальной ортогональной прогонки и реализовывалась с помощью пакета Mathcad.

Ее решение представлено в виде графика функции (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Решение краевой задачи с одним пограничным слоем**

Приведение краевой задачи к совокупности задач Коши работает также в пользу рассматриваемой модификации метода. За счет введения регулирующих множителей в зонах пограничных слоев рост решений и особенно градиентов решений нейтрализуется и больше не вызывает осложнений в решениях.

Реализация метода с помощью пакета Mathcad доступна, удобна в обращении и легко представляется графиками.

УДК 517.956.32

Е. В. Устилко, ассист. (БГТУ, г. Минск)

**О РЕШЕНИИ СМЕШАННОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ПОЛУОГРАНИЧЕННОЙ СТРУНЫ С ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ПЕРВОЙ ПРОИЗВОДНОЙ В НЕСТАЦИОНАРНОМ ГРАНИЧНОМ РЕЖИМЕ ДЛЯ ГЛАДКИХ РЕШЕНИЙ**

На множестве  $\dot{G}_\infty = (0, \infty) \times (0, \infty)$  ставится смешанная задача:

$$u_{tt}(x,t) + (a_1 - a_2)u_{xt}(x,t) - a_1a_2u_{xx}(x,t) = f(x,t), \quad (x,t) \in \dot{G}_\infty,$$

$$u(x,t)|_{t=0} = \varphi(x), \quad u_t(x,t)|_{t=0} = \psi(x), \quad x \in (0, \infty),$$

$$[\alpha(t)(u_t(x,t) + a_1u_x(x,t)) + \gamma(t)u(x,t)]|_{x=0} = \mu(t), \quad t \in (0, \infty),$$

где  $a_1 > 0, a_2 > 0$ . Требуется найти решения  $u \in C^m(G_\infty)$ ,  $m \geq 2$ ,  $m \in \mathbb{N}$ ,  $G_\infty = [0, \infty) \times [0, \infty)$ , условия, налагаемые на исходные данные для однозначной и устойчивой везде разрешимости характеристической смешанной задачи (1)–(3) [1].

**Теорема 1.** Пусть в граничном режиме (3) коэффициенты  $\alpha, \gamma \in C^m(R_+)$ ,  $\gamma(t) \neq 0$ ,  $t \in R_+ = [0, \infty)$ . Для того чтобы смешанная задача (1)–(3) в  $\dot{G}_\infty$  имела единственное и устойчивое по  $\varphi, \psi, \mu, f$  решение из  $C^m(G_\infty)$ , достаточно выполнения условий гладкости

$$\begin{aligned} f &\in C^{m-2}(G_\infty), \varphi \in C^m(R_+), \psi \in C^{m-1}(R_+), \\ H_1(x, t) &= \int_0^t f(x + a_2(t - \tau), \tau) d\tau \in C^{m-1}(G_\infty), \\ H_2(x, t) &= \frac{a_2 + 2a_1}{a_1} \int_0^{(x/a_1)-t} f\left(\frac{a_2 + 2a_1}{a_1}(x - a_1t) - a_2\tau, \tau\right) d\tau + \\ &+ \int_{(x/a_1)-t}^t f(x - a_1(t - \tau), \tau) d\tau \in C^{m-1}(G_-), \\ H_3(x, t) &= -\frac{a_2}{a_1} \int_0^{t-(x/a_1)} f(a_2(t - (x/a_1) - \tau), \tau) d\tau + \\ &+ \int_{t-(x/a_1)}^t f(x - a_1(t - \tau), \tau) d\tau \in C^{m-1}(G_+), \end{aligned}$$

все частные производные до порядка  $m-1$  включительно от  $H_2$  и  $H_3$  непрерывны на  $x = a_1t$ ;

$$\begin{aligned} \mu &\in C^m(R_+), \alpha(t)\varphi^{(m+1)}(a_2t), \quad \alpha(t)\psi^m(a_2t), \\ \alpha(t) &\left[ \partial^m \left( \int_0^t f(a_2(t - \tau), \tau) d\tau \right) / \partial t^m \right] \in C(R_+), \end{aligned}$$

и условий согласования

$$\begin{aligned}
& J_{q+1} \equiv \left\langle \alpha^{(q)}(0) [\psi(0) + a_1 \phi'(0)] + \gamma^{(q)}(0) \phi(0) \right\rangle + \\
& + q \left\{ \alpha^{(q-1)}(0) \left\langle a_2 [\psi'(0) + a_1 \phi''(0)] + f(0,0) \right\rangle + \gamma^{(q-1)}(0) \psi(0) \right\} + \\
& + \sum_{i=2}^{q-1} C_q^i \left\{ \alpha^{(q-i)}(0) a_2^i [\psi^{(i)}(0) + a_1 \phi^{(i+1)}(0)] + \alpha(0) a_2^q [\psi^{(q)}(0) + a_1 \phi^{(q+1)}(0)] + \right. \\
& \quad \left. + \gamma^{(q-i)}(0) \left\langle a_2 \frac{a_2^{i-1} - (-a_1)^{i-1}}{a_1 + a_2} [\psi^{(i-1)}(0) + a_1 \phi^{(i)}(0)] + \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \sum_{k=0}^{i-2} \frac{a_2^{k+1} - (-a_1)^{k+1}}{a_1 + a_2} f^{(k;i-k-2)}(0,0) + (-a_1)^{i-1} \psi^{(i-1)}(0) \right\rangle \right\} + \\
& \quad + \sum_{i=2}^{q-1} C_q^i \alpha^{(q-i)}(0) \sum_{j=0}^{i-1} a_2^j f^{(j;i-j-1)}(0,0) + \\
& + \alpha(0) \frac{\partial}{\partial \vec{v}_2} \left( \sum_{j=0}^{(q-2)/2} a_2^{2j} f^{(2j;q-2j-2)}(x,t) \right) (0,0) = \mu^{(q)}(0), \quad q = 0, 1, \dots, m-1,
\end{aligned}$$

где  $(\partial(\bullet) / \partial \vec{v}_2)(0,0)$  – значение производной по вектору  $\vec{v}_2 = \{a_2, 1\}$  от указанной суммы частных производных порядка  $m-2$  в начале координат. Формулы для решений совпадают с формулами для  $m=2$  [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ломовцев Ф. Е. Метод корректировки пробных решений общего волнового уравнения в первой четверти плоскости для минимальной гладкости его правой части // Журн. Белорус. гос. ун-та. Математика. Информатика. – 2017. – № 3. – С. 38-52.
2. Ломовцев Ф. Е., Устилко Е. В. Критерий корректности смешанной задачи для общего уравнения колебаний полуограниченной струны с нестационарной характеристической первой косою производной в граничном условии // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. – 2018. – № 4 (101). – С. 18-28.

УДК 336.781.5

М. В. Чайковский, канд. физ.-мат. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

#### ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ КАК ОДИН ИЗ ИНСТРУМЕНТОВ ФИНАНСОВОГО АНАЛИЗА

Финансовая математика охватывает определенный круг методов вычислений (алгебраические методы, методы математического анализа, теории вероятностей, математической статистики и др.), необхо-

димостью в которых возникает всякий раз, когда в условиях сделки или финансово-банковской операции оговариваются конкретные значения трех видов параметров: стоимостные характеристики (размеры платежей, долговых обязательств, кредитов и т.д.), временные данные (даты или сроки выплат, продолжительность льготных периодов или отсрочки платежей и т.п.), и такие специфические параметры, как процентные ставки (они могут быть заданы и в скрытой форме). Каждый из перечисленных параметров может быть представлен в различном виде, но все они равноправны в рамках одной операции или сделки. Пренебрежение любым из них может привести к нежелательным финансовым последствиям для одной из участвующих сторон. Между перечисленными параметрами объективно существуют функциональные зависимости. Изучение этих зависимостей и разработка на их основе методов решения финансовых задач определенного класса и являются предметом финансовой математики.

Простейший вид финансовой сделки – однократное представление в долг некоторой суммы  $S(t_0)$  с условием, что через время  $T$  будет возвращена сумма  $S(t_0 + T)$ . Рассмотрим, как соотносится между собой рост по простым и сложным процентам. Соответствующие коэффициенты наращивания вычисляются по формулам

$$A_i^{cl}(T) = (1 + i)^T, A_i^{np}(T) = 1 + iT.$$

График функции  $y_{np}(T) = 1 + iT$  – это прямая с угловым коэффициентом  $i > 0$ . Производная функции  $y_{cl}(T) = (1 + i)^T$  по переменной  $T$  равна

$$y'_{cl}(T) = (1 + i)^T \ln(1 + i) > 0,$$

то есть это также возрастающая функция. Вторая производная

$$y''_{cl}(T) = (1 + i)^T \ln^2(1 + i) > 0,$$

следовательно, график этой функции является вогнутым. Другими словами, это вогнутая возрастающая функция. По одному из определений графика вогнутой функции, отрезок, соединяющий две любые точки такой функции, целиком лежит в надграфике функции. Суммируя вышесказанное, имеем, что при любом  $i$  будут иметь место следующие соотношения

$$(1 + i)^T < 1 + iT \text{ при } 0 < T < 1,$$

$$(1 + i)^T > 1 + iT \text{ при } T > 1.$$

Представляет интерес и то, каким образом будет изменяться ко-

эффицент наращеня при изменении процентной ставки  $i$  в случае фиксированного значения  $T$ . С математической точки зрения этот интерес сводится к исследованию поведения функций

$$y_{сл}(i) = (1+i)^T \text{ и } y_{пр}(i) = 1+iT$$

при постоянном фиксированном значении  $T \geq 0$ .

Функция  $y_{сл}(i) = (1+i)^T$  – это степенная функция переменной  $i$ , следовательно, ее производная

$$y'(i) = T(1+i)^{T-1} > 0$$

для всех значений аргумента  $i > 0$ . Откуда имеем, что это возрастающая функция на всей области определения. Чтобы определить характер роста функции, найдем ее вторую производную

$$y''(i) = T(T-1)(1+i)^{T-2}.$$

Знак второй производной зависит от того, какое значение  $T$  зафиксировано

$$y''(i) = \begin{cases} < 0, \text{ если } 0 < T < 1; \\ > 0, \text{ если } T > 1. \end{cases}$$

В случае  $y''(i) > 0$  ( $y''(i) < 0$ ) график функции вогнут (выпукл). По определению это означает, что всякая касательная к графику этой функции находится ниже (выше) этого графика. Касательная в начальный момент  $i=0$  к графику имеет угловой коэффициент равный  $T$ , то есть совпадает с угловым коэффициентом функции  $y_{пр}(i) = 1+iT$ . При фиксированном сроке наращеня  $0 < T < 1$  коэффициент наращеня по простым процентам в зависимости от  $i$  растет скорее, чем коэффициент наращеня по сложным процентам. При  $T > 1$  результат противоположный.

Проведенный выше анализ поведения коэффициентов наращеня сводился к сравнению суммарных ( $y(T), y(i)$ ) и предельных величин ( $y'(T), y'(i)$ ). Используя аппарат дифференциального исчисления, имеет экономический смысл анализировать наряду с суммарными и предельными, также относительные величины. В экономике их роль выполняет понятие эластичности, которая характеризует относительные изменения  $\Delta y / y$  функции при достаточно малых относительных изменениях аргумента  $\Delta x / x$ . С точки зрения экономиста, эластичность приближенно показывает, как изменится функция при изменении ее аргумента на 1%. Если эластичность равна 1, то функция имеет

нейтральную эластичность. Если эластичность больше единицы, то функция считается эластичной, если меньше единицы – то неэластичной. Математически это описывается соотношением  $E_x[y] = \frac{dy}{dx} \frac{x}{y}$ . Для

простых процентов  $E_T[y_{np}(T)] = \frac{iT}{1+iT} = E_i[y_{np}(i)]$  эластичность коэф-

фициента наращивания по простым процентам по периоду начисления  $T$  и процентной ставке  $i$  совпадают и меньше единицы. Вычислим далее эластичность введенных функций для случая начисления сложных процентов. Функция  $y_{cl}(T)$  при фиксированной процентной ставке для сложных процентов  $i$  является показательной функцией, поэтому  $E_T[y_{cl}(T)] = T \ln(1+i)$  и несложно убедиться, что  $\lim_{T \rightarrow \infty} E_T[y_{cl}(T)] = \infty$ . То есть при достаточно большом временном периоде  $T$  изменение аргумента на 1% приведет к значительно большим изменениям функции.

Проанализируем далее эластичность по  $i$  коэффициента наращивания по сложным процентам. Так как  $y_{cl}(i)$  является уже степенной функцией, имеем  $E_i[y_{cl}(i)] = \frac{iT}{1+i}$ . Сравним полученную функцию с  $E_i[y_{np}(i)]$ . Так как числители анализируемых дробей совпадают, то большей из них является та, знаменатель которой меньше, но

$$(1+iT) - (1+i) = i(T-1) = \begin{cases} < 0, & \text{если } 0 < T < 1; \\ > 0, & \text{если } T > 1. \end{cases}$$

Другими словами, при сроке накопления до года, более эластичными являются простые проценты, свыше года – сложные.

Полученные с помощью дифференциального исчисления функции одной переменной выводы совпадают с оными получаемыми экономистами, но затраченное время и наглядная доказательность не сопоставимы. Математически все выглядит более строго и кратко.



## О ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ИСЧИСЛЕНИИ ОБОБЩЕННЫХ ОПЕРАТОРОВ

Одной из важнейших задач функционального анализа является проблема определения функционального исчисления операторов. Для решения этой задачи предлагается подход, основанный на построении алгебры обобщенных операторов, в которую вкладывается множество линейных ограниченных операторов [2], причем построенная алгебра обладает свойствами, аналогичными свойствам алгебр линейных ограниченных операторов. Кроме того, подход к обобщенным операторам как к классам эквивалентности последовательностей ограниченных дает возможность рассматривать некоторые неограниченные операторы как элементы новой алгебры. Соответствие между неограниченным оператором и оператором обобщенным задается следующим образом:

Если для некоторого неограниченного оператора  $A$  существует последовательность  $(A_n)$ , сильно сходящаяся к  $A$  и являющаяся элементом алгебры  $G_m(A)$ , то оператор  $A$  вкладывается в алгебру обобщенных операторов как класс эквивалентности сходящейся к ней последовательности. При этом каждому такому оператору соответствует множество обобщенных операторов.

Благодаря такому подходу решается и задача о продолжении функционального исчисления на множество символов, содержащее обобщенные функции. В частности, справедлива следующая теорема.

**Теорема.** Гомоморфизм  $\Gamma$  из пространства гладких функций  $S(R)$  в алгебру  $A$  линейных ограниченных операторов продолжается до гомоморфизма  $\Gamma$ , действующего из алгебры мнемофункций  $G(S(R))$  в алгебру обобщенных операторов  $G(A)$ .

В основе доказательства этой теоремы лежит подход к обобщенным функциям как к классам эквивалентности последовательностей гладких функций [1] и к обобщенным операторам — как к классам эквивалентности последовательностей ограниченных операторов [2]. Сначала рассматривается случай построения функционального исчисления для самосопряженного оператора  $A$ , а затем полученный результат обобщается на случай, когда оператор не является самосопряженным, однако, при этом на  $A$  накладываются некоторые дополнительные условия. Кроме того, в некоторых случаях можно непо-

средственно вычислить значение функции от оператора, например, значение  $\delta$ -функции Дирака на матрице линейного оператора, действующего из конечномерного пространства  $X$  в себя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антоневиц А. Б., Радыно Я. В. Об общем методе построения алгебр обобщенных функций // ДАН СССР. – 1991. – Т.318, №2. – С. 267-270.
2. Гулецкая О. И, Радыно Я. В. К теории обобщенных функций от операторов // Весці Акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 1995. – №2. – С. 23-28.

УДК 37.018.43

И. К. Асмыкович, канд. физ.-мат. наук, доц.;  
С. В. Янович, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

### **О СПЕЦИФИКЕ ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ В НОВЫХ УСЛОВИЯХ**

Проходящие в современном обществе процессы, в том числе и информатизация, оказывают то или иное воздействие на образование. Никто не отрицает, что информатизация имеет огромные достоинства, основными из которых являются всевозможные технические устройства, неограниченные возможности общения, практически неограниченный и мгновенный доступ к любой интересующей нас информации. Вместе с тем возникают и негативные побочные эффекты, некоторые из которых мы попытаемся проанализировать на основании опыта общения со студентами в процессе обучения математике, да и не только.

В принципе мало кто теоретически сомневается в необходимости и важности понимания математики для специалистов XXI века [1]. Но повсеместное использование вычислительной техники, во-первых, приводит к ослаблению базовых навыков в устном счете (калькулятор посчитает), в написании, как в грамматике, так и в каллиграфии (редактор исправит ошибки), во-вторых, происходит утеря базовых навыков в запоминании информации. Так устроен человек, что он идет по пути наименьшего сопротивления. Зачем что-то помнить, если любой момент можно получить нужную информацию. В-третьих, и это главное, неумение пользоваться доступом к информации. Да, современные студенты неплохо пользуются Интернетом для нахождения информации, но только, какой. Для начала, надо иметь хороший базовый уровень знаний по предмету, а это студенты стараются проигнорировать, веря в безграничные возможности Интернета. Ведь, чтобы

получить информацию, надо правильно сформулировать вопрос, а для этого надо разбираться в предмете. Какую теорему можно получить по запросу «теорема Коши» не имея представления по какому разделу математики она нам нужна? Дальше, надо критически относиться к полученной информации, анализировать ее. Везде есть и ошибки, и откровенная глупость. Простой пример-определение обратной матрицы:  $A^{-1} A=AA^{-1}=E$ . (Все примеры позаимствованы из студенческих работ). Еще возникает какое-то выборочное восприятие информации. Нашли формулу, а пояснения к ней читать не надо. И как ее потом применять? Пользование интернет-калькуляторами для вычисления пределов и интегралов часто приводит к усложнению решений. Если учитывать какую-то особенность примера, решение будет простым и коротким. Но это может сделать человек, а не машина. Не зря весьма давно фирма IBM провозглашала, что машина должна работать, а человек – думать. У студентов, к сожалению, не возникает сомнений, что вместо решения на страницу или лист, можно ограничиться одной- двумя строками. Но для этого надо понимать предмет. В четвертых, возникает неумение пользоваться бумажными носителями информации. Интересно наблюдать, как поиск в книге происходит многократным перелистыванием страниц вместо того, чтобы посмотреть содержание. Отдельно отметить передачу информации от студента к студенту. Она слепо копируется, не анализируется, а возможно, и не читается. Смешно, когда несколько десятков человек переписывает глупость и ни у кого не возникает ни малейшего сомнения. Пример: «Смешанное произведение векторов – это скалярное произведение векторов на третий вектор», «Собственный вектор – это нулевой вектор».

Теперь относительно расчетно-графических заданий (РГР). Если раньше РГР выполняла не только контролирующую, но и обучающую функции, то теперь РГР по некоторым темам служит только для контроля, причем не совсем понятно чего. Так, как в основном теперь РГР выполняются студентами посредством технических средств, либо переписыванием у соседа (см. примеры выше).

Как поступать в сложившейся ситуации? Самым разумным, но может не очень эффективным, является развитие сознательности у студентов. Неоднократными объяснениями, примерами из реальности способствовать появлению потребности в получении базовых знаний по предмету, который позволит развивать дальше знания и умения путем получения необходимой информации из любых дополнительных источников информации. Это позволит хорошим студентам уже на первых курсах участвовать в научно-исследовательской работе [2] и стать настоящим инженером. Необходимо контролировать пользова-

ние Интернетом, но не в плане запрета, а в плане оказания консультативной помощи. Следует обращать внимание студентов на те или иные нюансы, которые возникают при получении информации из Интернета, решении задач посредством технических средств. Пример: компьютер строит график. Но мало кто из студентов задумывается о том, что на полученное изображение влияет выбранный масштаб. Конечно, большие возможности остаются за самостоятельной работой студентов [3], но по-прежнему сложный вопрос как ее эффективно организовать. Хорошо заинтересованные в качестве своего образования студенты могут самостоятельно изучать и модифицировать современные алгоритмы прикладной математики и использовать их для решения конкретных задач будущей специальности [4].

Вывод: для получения достойного образования надо не отбрасывать классические подходы к образованию, заменяя их новыми, а сочетать преимущества как новых, так и старых.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Асмыкович И. К., Борковская И. М., Пыжкова О. Н. О роли математики в формировании творческих навыков студентов технических университетов // Науковий вісник Льотної академії. Серія: Педагогічні науки. Збірник наукових праць / Гол. ред. Т.С. Плачинда. Кропивницький : ЛА НАУ, 2019. – Вип. 5. – С. 29-33.

2. Асмыкович И. К., Янович С. В. Организация НИРС по математике на младших курсах технических университетов // Современные проблемы технического образования : Материалы XVII Всероссийской научно-методической конф. (Йошкар-Ола, 10-11 марта 2017 г.). – Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2017. – С. 13-16.

3. Волк А. М., Соловьева И. Ф. К вопросу организации самостоятельной работы студентов в Белорусском государственном технологическом университете // Актуальные проблемы преподавания математики в техническом вузе. – Омск, ОмГТУ, 2019. – № 7. – С. 74-79.

4. Марчук К. С., Асмыкович И. К. Алгоритм создания электронной подписи на основе групп точек на эллиптической кривой // Молодежь и наука : актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : материалы II Всерос. нац. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 08-12 апреля 2019 г. : в 4 ч. / редкол. : Э. А. Дмитриев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2019. – Ч. 2. – С. 354-356.

Н. В. Бочило, ст. преп.,  
Е. В. Калиновская, ст. преп.,  
Е. И. Ловенецкая, канд. физ.-мат. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

## **ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЭУМК НА БАЗЕ СИСТЕМЫ MOODLE**

Мир уже давно вошел в информационную эпоху. Компьютеризация образования стала неотъемлемой частью образовательного процесса. Имея в руках лишь мобильный телефон, находясь практически в любой точке нашей страны и мира, мы всегда можем получить нужную нам информацию. Вопрос только в том, каково ее качество и можем ли мы ей доверять. К сожалению, многие студенты, находясь с рождения в информационной среде и воспринимая её как объективную реальность, не способны или не считают нужным критично осмысливать информацию, полученную из интернета. Как отмечает в своей работе М. В. Осипов, «в контексте проблемы выбора педагогической технологии для обучения студентов «цифрового» поколения значимыми являются следующие качества личности современных студентов:

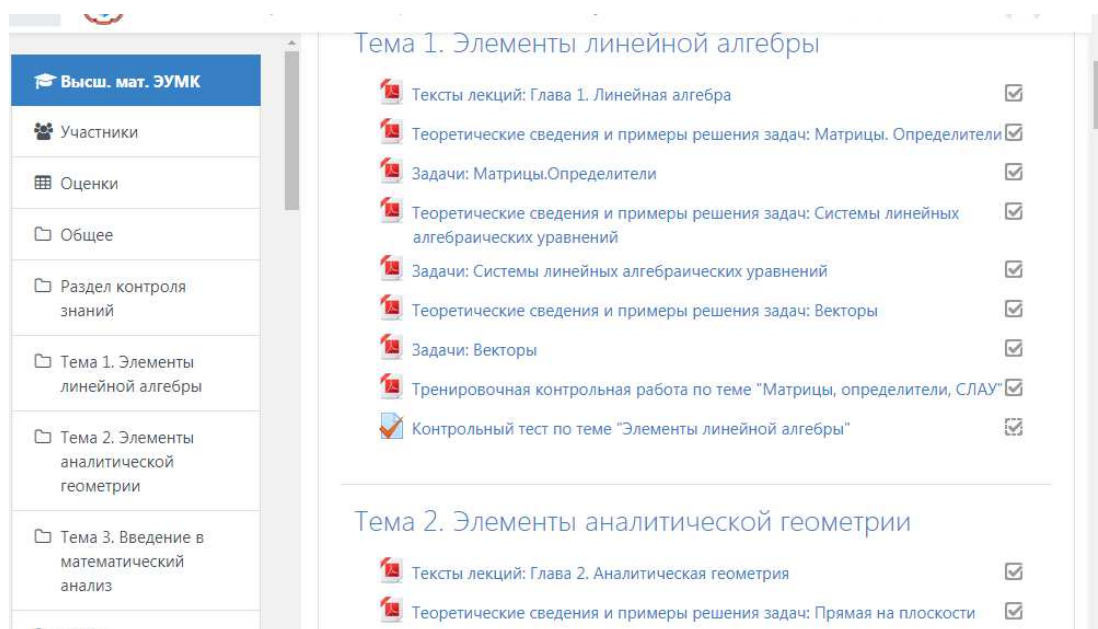
- улучшение зрительного восприятия, клиповость мышления;
- потребность в новизне и способность к активной трансформации реальности;
- способность к современной деятельности по типу «викидействия»;
- информационная перегруженность, постоянная включенность в поисковую деятельность;
- понижение способности к концентрации внимания;
- поверхностный подход к анализу информации и принятию решений, потеря ценности системы знаний». [1]

В силу вышесказанного, одной из основных задач педагога является создание качественного, современного, отвечающего требованиям интерактивности, наглядности, мобильности, компактности, комплексного методического обеспечения учебного процесса. Ведь педагогическая наука и практика убедительно доказывают, что результативность образовательного процесса существенно повышаются, если его учебно-методическое обеспечение осуществляется комплексно. Именно поэтому основными информационными ресурсами вуза становятся электронные учебно-методические комплексы (ЭУМК), которые позволяют собрать вместе практически все материалы, требуемые для изучения той или иной дисциплины.

В настоящее время на кафедре высшей математики БГТУ разрабатываются ЭУМК на основе системы дистанционного обучения Moodle (СДО). Как и все ЭУМК, эти комплексы содержат все необходимые компоненты:

- теоретический, включающий тексты лекций, краткие теоретические сведения, справочные материалы;
- практический, в который входят примеры решения задач, задачи для аудиторной и самостоятельной работы;
- раздел контроля знаний, содержащий тесты для самоконтроля, тренировочные варианты контрольных работ, индивидуальные задания, теоретические вопросы и задачи для подготовки к экзаменам;
- вспомогательный, состоящий из учебных программ по данной дисциплине и рекомендуемой литературы.

Система Moodle позволяет создать ЭУМК с удобным, понятным и красивым интерфейсом. Весь материал разделен на темы (модули), соответствующие изучаемым разделам математики. Тема содержит тексты лекций, краткие теоретические сведения, примеры решения задач, практикум, вариант тренировочной контрольной работы и тесты (рисунок 1). Все файлы имеют небольшой объем, нужную информацию в них легко найти. Таким образом, в пределах каждого модуля представлен весь материал, необходимый студенту для качественного изучения данного раздела.



**Рисунок 1 – Представление тем курса высшей математики в ЭУМК**

Отдельно хочется остановиться на тестах. Они открывают широкие возможности по контролю знаний, наряду с традиционными про-

верочными работами, без которых невозможно обойтись, но проверка которых весьма трудоемка. Так, можно задать время начала и окончания тестирования, ограничение по времени прохождения теста, количество попыток, проходной балл, способ оценивания в случае нескольких попыток: последний, высший или средний балл. Тесты можно использовать как инструмент подготовки и самоконтроля для студентов перед написанием контрольной. Можно потребовать обязательное прохождение теста, если аудиторная проверочная работа написана плохо. Можно, например, организовать тестирование группы на занятиях, если по данной теме не предусмотрена другая форма контроля. Важно, что настройки теста легко меняются, и перед экзаменом можно убрать все ограничения по прохождению теста, чтобы студент мог проверить свои знания в любое удобное для него время.

Создавая ЭУМК в СДО, мы не просто имеем набор информационных ресурсов, мы получаем среду, позволяющую оперативно взаимодействовать педагогу и студенту. В начале учебного года преподаватель подписывает на данный курс в СДО студентов своего потока, затем он может размещать там актуальную информацию: время консультаций, домашние задания и т. д. Для обсуждения различных вопросов можно использовать форум.

На данный момент созданные на нашей кафедре ЭУМК используют пока не все возможности СДО. В перспективе можно загружать видеоматериалы, презентации, гиперссылки на качественные обучающие ресурсы, создавать тренировочные тесты с комментариями при выборе неправильного ответа, лекции не в формате pdf, а как активный элемент СДО с возможностью перехода на следующую страницу при правильном ответе на вопрос по тексту лекции. Все это позволит стимулировать предметно-образную память у студентов, повысить интерес к предмету за счет разнообразия форм подачи материала.

Опыт создания ЭУМК на базе Moodle показывает, что эргономичность данного продукта, интуитивность его интерфейса приводят к активному использованию студентами его информационных и тестовых ресурсов. Это дает возможность совершенствовать контроль и самоконтроль, позволяет индивидуализировать процесс обучения, эффективно организовать самостоятельную работу, повысить мотивацию и самооценку обучаемого.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Осипов М. В. Обоснование выбора технологий для дистанционного сопровождения образовательного процесса в вузе // Молодой ученый. 2014. №21. С. 671-675.

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ  
КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОЛИНОМА ЧЕТВЕРТОЙ СТЕПЕНИ  
ЧЕРЕЗ КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОЛИНОМА ШЕСТОЙ СТЕПЕНИ  
ПРИ НАЛИЧИИ ЛИНЕЙНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ КОРНЯМИ  
ДАННЫХ ПОЛИНОМОВ**

В работе установлены необходимые и достаточные условия, связывающие коэффициенты полинома комплексного аргумента шестой степени вида (1)

$$P(z) = z^6 + c_1 z^5 + c_2 z^4 + c_3 z^3 + c_4 z^2 + c_5 z + c_6 \quad (1)$$

с коэффициентами полинома четвертой степени вида (2)

$$Q_4(z) = z^4 + a_1 z^3 + a_2 z^2 + a_3 z + a_4 \quad (2)$$

при наличии линейной связи между корнями этих полиномов.

Обозначим корни полинома (2) через  $p_1, p_2, p_3, p_4$  и, кроме того, обозначим попарно их суммы

$$q_1 = p_1 + p_2, \quad q_2 = p_1 + p_3, \quad q_3 = p_1 + p_4,$$

$$q_4 = p_2 + p_3, \quad q_5 = p_2 + p_4, \quad q_6 = p_3 + p_4.$$

**Теорема.** Числа  $q_j$  ( $j=1, 2, \dots, 6$ ) являются корнями полинома (1) тогда и только тогда, когда разрешима относительно  $a_k$  ( $k=1, 2, 3, 4$ ) система уравнений

$$c_1 = 3a_1, \quad (3)$$

$$3a_1^2 + 2a_2 - c_2 = 0, \quad (4)$$

$$a_1^3 + 4a_1 a_2 - c_3 = 0, \quad (5)$$

$$2a_1^2 a_2 + a_1 a_3 + a_2^2 - 4a_4 - c_4 = 0, \quad (6)$$

$$a_1 (a_1 a_3 + a_2^2 - 4a_4) - c_5 = 0, \quad (7)$$

$$a_1 a_2 a_3 - a_1^2 a_4 - a_3^2 - c_6 = 0. \quad (8)$$

В свою очередь, необходимым и достаточным условием однозначной разрешимости системы уравнений (3)-(8) относительно  $a_k$  ( $k=1, 2, 3, 4$ ) являются соотношения

$$c_3 = \frac{2}{3} c_1 c_2 - \frac{5}{27} c_1^3, \quad (9)$$



$$c_5 = \frac{1}{81}c_1^5 - \frac{1}{27}c_1^3c_2 + \frac{1}{3}c_1c_4. \quad (10)$$

При этом,

$$a_1 = \frac{c_1}{3}, \quad a_2 = -\frac{1}{6}c_1^2 + \frac{1}{2}c_2,$$

$$a_3 = -\frac{7}{216}c_1^3 + \frac{1}{12}c_1c_2, \quad a_4 = -\frac{13}{2592}c_1^4 - \frac{1}{144}c_1^2c_2 + \frac{1}{16}c_2^2 - \frac{1}{4}c_4.$$

*Доказательство. Необходимость.* Пусть числа  $q_j$  ( $j=1, 2, \dots, 6$ ) являются корнями полинома (1), тогда коэффициенты данного полинома будут иметь вид

$$c_1 = -3(p_1 + p_2 + p_3 + p_4);$$

$$c_2 = 3(p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + p_4^2) + 8(p_1p_2 + p_1p_3 + p_1p_4 + p_2p_3 + p_2p_4 + p_3p_4);$$

$$c_3 = -(p_1 + p_2 + p_3 + p_4)(6(p_1p_2 + p_1p_3 + p_1p_4 + p_2p_3 + p_2p_4 + p_3p_4) + (p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + p_4^2));$$

$$c_4 = 30p_1p_2p_3p_4 + \left[ 2(p_1^3p_2 + p_1^3p_3 + p_1^3p_4 + p_1p_2^3 + p_1p_3^3 + p_1p_4^3 + p_2^3p_3 + p_2^3p_4 + p_2p_3^3 + p_2p_4^3 + p_3^3p_4 + p_3p_4^3) + 13(p_1^2p_2p_3 + p_1^2p_2p_4 + p_1^2p_3p_4 + p_1p_2^2p_3 + p_1p_2^2p_4 + p_1p_2p_3^2 + p_1p_2p_4^2 + p_1p_3^2p_4 + p_1p_3p_4^2 + p_2^2p_3p_4 + p_2p_3^2p_4 + p_2p_3p_4^2) + 5(p_1^2p_3^2 + p_1^2p_4^2 + p_2^2p_3^2 + p_1^2p_2^2 + p_2^2p_4^2 + p_3^2p_4^2) \right];$$

$$c_5 = -(p_1 + p_2 + p_3 + p_4) \left[ (6p_1p_2p_3p_4 + (p_1^2p_2^2 + p_1^2p_3^2 + p_1^2p_4^2 + p_2^2p_3^2 + p_2^2p_4^2 + p_3^2p_4^2)) + 3(p_1^2p_2p_3 + p_1^2p_2p_4 + p_1^2p_3p_4 + p_1p_2^2p_3 + p_1p_2^2p_4 + p_1p_2p_3^2 + p_1p_2p_4^2 + p_1p_3^2p_4 + p_1p_3p_4^2 + p_2^2p_3p_4 + p_2p_3^2p_4 + p_2p_3p_4^2) \right];$$

$$c_6 = (p_1^3p_2^2p_3 + p_1^3p_2^2p_4 + p_1^3p_2p_3^2 + p_1^3p_2p_4^2 + p_1^3p_3^2p_4 + p_1^3p_3p_4^2 + p_1^2p_2^3p_3 +$$

$$+ p_1^2p_2p_3^3 + p_1^2p_2^3p_4 + p_1^2p_3p_4^3 + p_1^2p_2p_4^3 + p_1^2p_3^3p_4 + p_1p_2^3p_3^2 + p_1p_2^3p_4^2 +$$

$$+ p_1p_2^2p_3^3 + p_1p_2^2p_4^3 + p_2^2p_3p_4^3 + p_2p_3^3p_4^2 + p_2p_3^2p_4^3 + p_1p_3^3p_4^2 + p_1p_3^2p_4^3 +$$

$$\begin{aligned}
& + p_2^3 p_3^2 p_4 + p_2^3 p_3 p_4^2 + p_2^2 p_3^3 p_4) + \left[ 2(p_1^2 p_2^2 p_3^2 + p_1^2 p_2^2 p_4^2 + p_1^2 p_3^2 p_4^2 + \right. \\
& \left. + p_2^2 p_3^2 p_4^2) + 2(p_1 p_2^3 p_3 p_4 + p_1^3 p_2 p_3 p_4 + p_1 p_2 p_3^3 p_4 + p_1 p_2 p_3 p_4^3) + \right. \\
& \left. + 4(p_1 p_2^2 p_3^2 p_4 + p_1 p_2^2 p_3 p_4^2 + p_1 p_2 p_3^2 p_4^2 + \right. \\
& \left. + p_1^2 p_2^2 p_3 p_4 + p_1^2 p_2 p_3^2 p_4 + p_1^2 p_2 p_3 p_4^2) \right].
\end{aligned}$$

Равенства (3), (4) и (5) получаются непосредственно из соотношений Виета для полинома четвертой степени.

Суммы, стоящие в круглых скобках в выражениях  $c_4, c_5, c_6$ , представляют собой симметричные полиномы от переменных  $p_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) и, согласно известной теореме ([1], с. 322) о возможности их представления через элементарные симметрические полиномы, могут быть выражены через коэффициенты полинома (2). Проведем соответствующие преобразования, получаем оставшиеся уравнения системы (6)-(8).

Осуществляя несложные преобразования над уравнениями системы (3)-(8), получаем уравнения (9) и (10) как критерии разрешимости рассматриваемой системы относительно  $a_k$  ( $k = 1, 2, 3, 4$ ), а также однозначные выражения коэффициентов полинома (2) через коэффициенты полинома (1).

Достаточность. Пусть выполнены равенства (9) и (10) и коэффициенты уравнения (1) выражаются через  $a_k$  ( $k = 1, 2, 3, 4$ ) в соответствии с системой (3)-(8). Полагая

$$\begin{aligned}
a_1 &= -(p_1 + p_2 + p_3 + p_4), \quad a_2 = p_1 p_2 + p_1 p_3 + p_1 p_4 + p_2 p_3 + p_2 p_4 + p_3 p_4, \\
a_3 &= -(p_1 p_2 p_3 + p_1 p_2 p_4 + p_1 p_3 p_4 + p_2 p_3 p_4), \quad a_4 = p_1 p_2 p_3 p_4,
\end{aligned}$$

получаем, что коэффициенты полинома (1) выражаются следующим образом:

$$c_1 = -(q_1 + q_2 + \dots + q_6), \quad c_2 = q_1 q_2 + q_1 q_3 + \dots + q_5 q_6, \quad \dots \quad c_6 = q_1 q_2 q_3 q_4 q_5 q_6,$$

т.е. в силу теоремы Виета числа  $q_1, q_2, \dots, q_6$  являются его корнями.

Теорема доказана.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Курош А. Г. Курс высшей алгебры: учеб. // СПб. : Лань. – 2008. – 432 с.

Г. С. Ромащенко, канд. физ.-мат. наук, доц. (БГУ, г. Минск)

## ПОДОБИЕ ВОЛЬТЕРРОВЫХ ОПЕРАТОРОВ В ПРОСТРАНСТВЕ СОБОЛЕВА ВЕКТОР ФУНКЦИЙ

Подобие вольтерровых операторов  $K$ 

$$K: f \rightarrow \int_0^x K(x, t) f(t) dt, f(t) = (f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t)) \quad (1)$$

вольтеррову оператору  $J \otimes B$ , который является тензорным произведением оператора интегрирования на матрицу  $B$ , в пространствах  $L_2[0,1] \otimes \mathbb{C}^n$  изучалось в работах Сахновича [3], Хилла [1] и Маламуда [2]. Именно, Л. А. Сахнович [3] нашел достаточные условия подобия  $K$  и  $J \otimes B$  с  $B = (I_{n_1}, I_{n_2})$ . Л. Т. Хилл получил достаточные условия подобия оператора свертки  $K: f \rightarrow \int_0^x K(x-t) f(t) dt$  оператору  $J \otimes B$  при  $B = I_n$  в пространстве вектор-функций  $L_2[0,1] \otimes \mathbb{C}^n$ . М. М. Маламуд в [2] получил достаточное условие подобия  $K$  вида (1) и  $J \otimes B$  для произвольной  $B = \text{diag}(\lambda_1 I_{n_1}, \dots, \lambda_r I_{n_r}), \lambda_i \in \mathbb{R}$ .

Мы обобщаем этот результат на случай пространства Соболева.

Напомним, что  $W_p^k[0,1] \otimes \mathbb{C}^n$ ,  $k \in \mathbb{Z}_+$ ,  $1 \leq p \leq +\infty$  обозначает пространство вектор-функций  $f(x)$ , имеющих обобщенные производные до порядка  $k$ , которые принадлежат  $L_p[0,1] \otimes \mathbb{C}^n$ .

Теорема. Пусть  $n \times n$ -матричное ядро  $K(x,t)$  оператора  $K$  удовлетворяет следующим условиям:

1.  $B=K(x,x)$  – постоянная невырожденная матрица с действительным спектром и простыми элементарными делителями;
2.  $K(x,t)$  – абсолютно непрерывно по  $x$  для почти всех  $t \in [0,1]$  и  $K_1(x,t) = D_x K(x,t) \in L_1(\Omega) \otimes \mathbb{C}^{n \times n}$ ,  $\Omega = \{0 \leq t \leq x \leq 1\}$ ;
3.  $K(x,t)$  – абсолютно непрерывно по  $t$  для почти всех  $x \in [0,1]$  и  $D_t K_1(x,t) = D_t D_x K(x,t) \in W_1^k(\Omega) \otimes \mathbb{C}^{n \times n}$ .

Тогда оператор  $K$  подобен оператору  $J \otimes B$  в  $W_p^k[0,1] \otimes \mathbb{C}^n$ ,  $k \in \mathbb{Z}_+$ ,  $1 \leq p \leq +\infty$ .

Теорема позволяет описать решетки инвариантных и гиперинвариантных подпространств и изучить другие спектральные свойства оператора  $K$  в соболевском пространстве.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Hill L. T. Spectral analysis of finite convolution operators with matrix kernels // Integral Equations and Operator Theory. – 1980. – Vol. 3/1. – P. 62-96.

2. Маламуд М. М. Вопросы единственности в обратных задачах для систем дифференциальных уравнений на конечном интервале // Труды моск. мат. об-ва. – 1999. – Т. 60 – С. 199-258.

3. Сахнович Л. А. О приведении вольтерровых операторов к простейшему виду в пространствах вектор-функций // Укр. мат. журнал. – 1962. – Т. 14 – С. 114-126.

УДК: 004.415.53

Е. Ю. Галимова, ассист.  
(ВШПМ СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург)

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ INTERNETOFBODIES, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР МЕТОДОВ ТЕСТИРОВАНИЯ**

Internet of Bodies (IoB) является перспективным расширением Internet of Things (IoT). IoB – это IoT, соединённый с человеческим телом. С помощью IoB осуществляется дистанционный контроль и мониторинг человеческих тел.

На сегодняшний день IoB реализуется, в первую очередь, в сфере здравоохранения, например, кардиостимуляторы, мозговой имплантаты, который сможет помочь пациентам, страдающим от болезни Альцгеймера и Паркинсона (находится в процессе тестирования). Однако, нейробиологи, ряд общественных деятелей и журналистов обеспокоены тем, что имплантаты могут использоваться для изменения памяти и личности людей. Для предотвращения данной проблемы Кертис Белл, почётный старший научный сотрудник Орегонского университета, разработал обязательство, которое распространяется среди нейробиологов по всему миру [1]. Обязательство отказаться от участия в применении нейронаук для нарушения основных прав человека или международного права.

IoB можно разделить на три типа [2]:

1. внешний тип (Apple Watches, Smart Bands);
2. внутренний тип (кардиостимуляторы, имплантаты, цифровые таблетки);
3. встроенный тип (датчики, которые вживляются под кожу).

Приложение Heart Study использует данные от Apple Watch для выявления нерегулярных сердечных ритмов, например, при мерцательной аритмии. В серии Apple Watch Series 4 есть функция снятия электрокардиограммы. Встроенный акселерометр и гироскоп помогают определить, не упал ли пользователь. Если обнаружено падение, часы могут спросить, хорошо ли себя чувствует пользователь. Если

нет ответа на вопрос, производится вызов экстренных служб и отправка текстовых сообщений специально сформированному списку «экстренных» контактов. В часах Heart Guide фирмы Omron реализована, среди прочих, функция измерения артериального давления. Пятьдесят сотрудников компании Three Square Market согласились на вживление микрочипов RFID, которые дают доступ к рабочему офису без ключа, позволяют оплачивать товары [3].

Актуальными являются вопросы конфиденциальности информации в IoV. Например, кохлеарный имплантат поможет восстановить слух, с другой стороны, он способен записывать все аудио-сигналы в окружающей среде. В мае 2018 года вступило в силу Европейское общее положение о защите данных (GDPR). Оно направлено на защиту конфиденциальных данных жителей ЕС. Наибольшая угроза безопасности – это угроза удалённого убийства (интернет-убийства). Если IoV регулирует, например, сердцебиение человека, то хакер может внедриться и убить с помощью намеренного нарушения сердечного ритма. Высокоприоритетным является проведение тестирования безопасности.

Для нового, малоизученного сегмента программного обеспечения опытными тестировщиками выполняется исследовательское тестирование. Данный подход к тестированию может объединять несколько техник. В процессе исследовательского тестирования тесты одновременно создаются и выполняются. От тестировщика требуется высокая обучаемость и способность к адаптации. Для выполнения тестирования строится модель программного продукта. Распространёнными являются следующие типы моделей: на основе программной архитектуры, по потокам данных, на основе состояний.

Критерии выбора исследовательского метода тестирования программного обеспечения:

- Большое количество потенциально возможных комбинаций пользовательских действий (структурная сложность программы по маршрутам выполнения).
- Регулярное добавление нового функционала.
- Неполнота требований.
- Многоуровневая вложенность форм.
- Наличие большого количества конкурентов на рынке (для коммерческих продуктов).
- Узкие финансовые рамки.

Следующим этапом является тестирование программного обеспечения на соответствие требованиям государственных законодательных актов.

Программное обеспечение устройств, входящих в IoB, также требует детального тестирования. По мере увеличения сложности программного обеспечения устройств, количество ошибок также растёт. В первую очередь применяется модульное тестирование [4]. Например, для кардиостимуляторов используется предварительно записанный сигнал электрограммы в качестве входных данных. Далее записывается выходной сигнал кардиостимулятора. Трудно произвести точную оценку выходных данных, соответствуют ли они состоянию пациента [5]. Данный вид тестирования проводится с разомкнутым контуром и не даёт информации о взаимодействиях с замкнутым контуром между устройством и сердцем.

На основе проведённого автором анализа, можно сделать вывод, что методики тестирования IoB находятся в стадии активной разработки. Подходы к тестированию IoB зависят от архитектуры системы. Требуются сложные сценарии тестирования, высокая квалификация специалистов. Можно прогнозировать появление новых подходов к тестированию программного обеспечения для IoB.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Pledge by Neuroscientists to Refuse to Participate in the Application of Neuroscience to Violations of Basic Human Rights or International Law / URL: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSf\\_rbqXnKq6fJztRyuwx\\_SMD6u\\_ebiozbeYpyZQ65ShxLuyWA/viewform?formkey=dEF4RFhhSWZwNktCakYtbTdkd1cxckE6MA](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSf_rbqXnKq6fJztRyuwx_SMD6u_ebiozbeYpyZQ65ShxLuyWA/viewform?formkey=dEF4RFhhSWZwNktCakYtbTdkd1cxckE6MA) (дата обращения: 27.12.2019).
2. Adithya Sailesh, Internet of Bodies – An Overview / URL: <https://medium.com/ieeekerala/internet-of-bodies-an-overview-9302579af62c> (дата обращения: 27.12.2019).
3. Bernard Marr, What Is The Internet Of Bodies? And How Is It Changing Our World? / URL: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/12/06/what-is-the-internet-of-bodies-and-how-is-it-changing-our-world/#21cc5c1868b7> (дата обращения: 27.12.2019).
4. George Chen, Zhihao Jian, Rahul Mangharam. Model-Based Conformance Testing for Implantable Pacemakers / URL: [https://repository.upenn.edu/mlab\\_papers/72](https://repository.upenn.edu/mlab_papers/72) (дата обращения: 27.12.2019).
5. Cortner J. M. Testing Implantable Medical Devices // Global Healthcare Medical Device. – Manufacturing Technology. – 2003. – P. 2–4.

Б.Ж. Сапаров, стажер исследователь;  
 О.А. Шералиева, ст. преп.; Э.Б. Холикулов, ст. преп.;  
 Ж.С. Тавбаев, доц., канд. физ.-мат. наук (ТКТИ, г. Узбекистан)

## МОДЕЛЬ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РАЗРУШЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ ПРОИЗВОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Цилиндрические конструкции природы и техники в связи с особенностями их работы часто разрушаются вследствие развития трещин вдоль образующих цилиндра. Когда длина таких трещин становится достаточно большой, распределение напряжений и деформаций, а также саму форму трещин можно считать неизменной в системе координат, связанной с движущейся трещиной. Скорость трещины может быть также равной нулю – этот случай не исключается из рассмотрения [1-2].

Теорию разрушения таких объектов наиболее удобно строить при помощи инвариантных  $\Gamma$ -интегралов. При этом, как это ни странно, особо важную роль в окончательных расчетах играет классическая плоская теория упругости в условиях плоской деформации. Рассмотрим следующий интеграл  $\Gamma$  по поверхности  $\Sigma$ :

$$\Gamma = \int_{\Sigma} [(W + T)n_x - \delta_{ij}u_{i,x}n_j] \cdot d\Sigma, \quad (i,j=1,2,3) \quad (1)$$

Здесь  $W$  – работа деформации твердого тела, приходящаяся на единицу объема;  $T$  – кинематическая энергия в расчете на единицу объема;  $\delta_{ij}$  – компоненты тензора напряжений;  $u_j$  – компоненты вектора перемещений;  $n_i$  – компоненты единичного вектора внешней нормали к поверхности  $\Sigma$  в данной точке; индексы  $i$  и  $j$  пробегает значения 1,2,3;  $Ox_1x_2x_3$  – прямоугольная декартова система координат, эквивалентная системе координат  $Oxyz$  с соответствием  $x_1 \leftrightarrow x$ ,  $x_2 \leftrightarrow y$ ,  $x_3 \leftrightarrow z$ . В качестве нижних индексов компонент векторов и тензоров будет употреблять двойное обозначение: цифрами и буквами с очевидным соответствием

$$1 \leftrightarrow x, 2 \leftrightarrow y, 3 \leftrightarrow z$$

Цифровое обозначение более удобно в общих формулировках, так как оно приводит к более компактной записи формул для тензорных и векторных величин путем использования правил суммирования по «слепому» индексу и обозначения дифференцирования по координате посредством запятой в индексе, например, имеем:

$$u_{i,x} = \frac{\partial u_i}{\partial x}, \quad \text{где, } x=x_1; \quad n_x=n_1; \quad \tau_{ij}u_{i,x}n_j = (\tau_{i1}n_1 + \tau_{i2}n_2 + \tau_{i3}n_3)u_{i,x} =$$

$$= (\tau_{11}n_1 + \tau_{12}n_2 + \tau_{13}n_3)u_{1,x} + (\tau_{21}n_1 + \tau_{22}n_2 + \tau_{23}n_3)u_{2,x} + (\tau_{31}n_1 + \tau_{32}n_2 + \tau_{33}n_3)u_{3,x} =$$

$$=(\tau_x n_x + \tau_{xy} n_y + \tau_{xz} n_z) \frac{\partial u_1}{\partial x} + (\tau_{xy} n_x + \tau_y n_y + \tau_{yz} n_z) \frac{\partial u_2}{\partial x} + (\tau_{xz} n_x + \tau_{yz} n_y + \tau_z n_z) \frac{\partial u_3}{\partial x} \quad (2)$$

Однако буквенное обозначение тензорных величин более удобно в конкретных вычислениях при решении частных задач и извлечении конечных интегралов определенной краевой задачи [4]. Здесь и всюду в дальнейшем предполагается, что:

а) объемные силы, за исключением сил инерции, отсутствуют.

б) Деформации твердого тела  $\varepsilon_{ij}$  малы, т.е.

$$\varepsilon_{ij} = 1/2(u_{i,j} + u_{j,i}); \text{ например, } \varepsilon_x = u_{1,x} \equiv U_{x,x} \quad (3)$$

Кинетическая энергия единицы объема твердого тела равна

$$T = \frac{\rho}{2} \dot{u}_i \dot{u}_i = \frac{\rho}{2} (\dot{u}_x + \dot{u}_y + \dot{u}_z) \quad (4)$$

где  $\dot{u}_i$  – скорость материальной точки;  $\rho$  – плотность тела.

Заметим, что перемещения  $u_1, u_2, u_3$  в подвижной системе координат  $Oxyz$ , связанной с резцом, не являются малыми

$$u_1 = u_1^0 - vt, \quad u_2 = u_2^0, \quad u_3 = u_3^0 \quad (5)$$

где  $u_1^0, u_2^0, u_3^0$  – перемещения твердого тела в неподвижной системе координат  $\xi\eta\zeta$ , связанной с разрушаемым телом:

$$\xi = x + vt, \quad \eta = y, \quad \zeta = z \quad (6)$$

Здесь  $V$  – скорость движения системы  $Oxyz$  относительно системы  $O\xi\eta\zeta$ , т.е. скорость движения трещины относительно разрушаемого тела;  $t$  – время. Перемещения  $u_1^0, u_2^0, u_3^0$  можно считать малыми по сравнению с характерным поперечным линейным размером цилиндра. (Заметим, что этот факт несущественен для дальнейшего).

Из сопоставления формул (5) и (6) вытекает следующая зависимость для любой функции  $A = A(x, y, z, t)$ .

$$\left| A = \frac{dA}{dt} = \frac{d}{dt} A(x, y, z, t) = \frac{\partial A}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial t} = -V \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} \quad (7) \right.$$

Процесс, описываемый некоторой функцией  $A(x, y, z, t)$ , называется стационарным в системе координат  $Oxyz$ , если функция не зависит от времени, т. е.

$$\left( A(x, y, z, t) = A(x, y, z) \text{ и } \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \right) \quad (8)$$

Согласно формуле (7) для стационарного в системе  $Oxyz$  процесса полная (материальная) производная равна

$$\dot{A} = -V \frac{\partial A}{\partial x} \quad (9)$$

Работа деформаций твердого тела единице объема равна



$$W = \int_0^t \delta_{ij} \dot{\epsilon}_{ij} dt, \quad \dot{\epsilon}_{ij} = 1/2(\dot{u}_{i,j} + \dot{u}_{j,i}) \quad (10)$$

Здесь  $\dot{\epsilon}_{ij}$  – тензор скорости деформаций, условное начало отсчета времени  $t=0$  в каждой точке тела соответствует началу процесса деформирования в этой точке.

Согласно формулам (4), (7), (9) и (10) кинетическая энергия и работа деформаций твердого тела для стационарного в системе  $Oxyz$  процесса выражается следующими формулами:

$$T = \frac{\rho}{2} \left( V^2 \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + 1 \right)^2 + \left( \frac{\partial u_y}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial u_z}{\partial x} \right)^2 \right) \quad (11)$$

$$W = - \int_x^\infty \delta_{ij} \cdot \frac{\partial \epsilon_{ij}}{\partial x} dx \quad (12)$$

Процесс деформирования и разрушения твердого тела будем называть стационарным в системе  $Oxyz$ , связанной с трещиной если все напряжения, деформации (а также производные перемещений по координатам), и функции  $u_1^0$ ,  $u_2^0$ ,  $u_3^0$  не зависят от времени, [3] т.е.

$$\delta_{ij} = \delta_{ij}(x, y, z); \quad \epsilon_{ij} = \epsilon_{ij}(x, y, z); \quad u_{ij} = u_{ij}(x, y, z); \quad u_i^0 = u_i^0(x, y, z) \quad (13)$$

Заметим, что согласно (5) и (7) для смещения  $u_1(x, y, z, t)$  будет:

$$\frac{du_1}{dt} = -V \cdot \frac{du_1}{dx} - V \quad (14)$$

Сформулирована общая физическая и геометрическая модель установившегося разрушения твёрдых тел цилиндрической конфигурации, допускающая эффективную аналитическую теорию.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мамасаидов М.Т., Эргашов М., Тавбаев Ж.С. Прочность гибких элементов и трубопроводов бурильных установок. Бишкек. Илим. 2001. 251 с.
2. Эргашов М., Тавбаев Ж.С. Прочность трубопроводов бурильных установок. Ташкент. Фан. 2002. 119 с.
3. Тавбаев Ж.С. О цилиндрических каналах в плотных слоях. Фергана. Научно-технический журнал. 2004 №3 с. 82.
4. Тавбаев Ж.С., Усманов Х.У., Тавбаева Д.Ж. Приближенное аналитическое решение краевой задачи для упакованного слоя. Фергана. Научно-технический журнал. 2006. №4 с.5-6

К. Х. Бабамуратов, кан. физ.-мат. наук,  
 Ж. Х. Разаков, преподаватель,  
 М. Р. Сагтаров, преподаватель,  
 О. Х. Бабаханов, магистр  
 (ТерГУ, г. Термез, Узбекистан)

## СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ И МАГНИТНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ ПОДРЕШЕТОК МЕДИ В КЕРАМИКАХ $YBa_2Cu_{3-x}Fe_xO_{7+y}$

Известно, что в сверхпроводящей керамике  $YBa_2Cu_3O_{7-z}$  с орторомбической решеткой по мере уменьшения содержания кислорода происходит уменьшение температуры перехода в сверхпроводящее состояние  $T_c$ , и при  $z > 0,6$  сверхпроводимость исчезает, решетка становится тетрагональной и одновременно появляется антиферромагнитное упорядочение подрешетки Cu (2). Замещение в керамике  $YBa_2Cu_3O_7$  части атомов меди атомами железа (образование твердого раствора  $YBa_2Cu_{3-x}Fe_xO_{7+y}$ ) сопровождается аналогичными эффектами: по мере возрастания  $x$  уменьшается  $T_c$ , при  $x > 0,05$  происходит перестройка орторомбической решетки в тетрагональную, при  $x > 0,45$  сверхпроводимость исчезает. Наиболее существенным моментом является факт сосуществования в керамике  $YBa_2Cu_{3-x}Fe_xO_{7+y}$  в области составов  $0,03 < x < 0,45$  сверхпроводимости и магнитного упорядочения атомов железа в узлах меди (последнее установлено методом мессбауэровской спектроскопии на изотопе  $^{57}Fe$  в большом числе работ. Однако остается неясным, связано ли магнитное упорядочение атомов железа в решетке  $YBa_2Cu_{3-x}Fe_xO_{7+y}$  с магнитным упорядочением атомов меди.

Для решения этого вопроса перспективным представляется использование эмиссионной мессбауэровской спектроскопии на изотопе  $^{61}Cu$  ( $^{61}Ni$ ): после распада материнского ядра  $^{61}Cu$  в узле меди образуется мессбауэровский зонд  $^{61}Ni$ , ядерные параметры которого позволяют надежно регистрировать магнитное упорядочение в узлах меди. Для исследований были использованы две пары образцов:  $YBa_2Cu_3O_{6,96}$  (орторомбическая модификация,  $T_c = 92$  К),  $YBa_2Cu_3O_{6,1}$  (тетрагональная модификация,  $T_c < 4,2$  К) и  $YBa_2Cu_{2,8}Fe_{0,2}O_{7,03}$  (тетрагональная модификация,  $T_c = 50$  К),  $YBa_2Cu_{2,5}Fe_{0,5}O_{7,18}$  (тетрагональная модификация,  $T_c < 4,2$  К).

Образцы  $YBa_2Cu_3O_{6,96}$  и  $YBa_2Cu_{3-x}Fe_xO_{7+y}$  готовились методом высокотемпературного твердофазного синтеза. В качестве компонент использовались  $Y_2O_3$ ,  $CuO$ ,  $Fe_2O_3$  (обогащение по изотопу  $^{57}Fe$  состав-

ляло 92%) и  $\text{BaCO}_3$ . После спекания при  $900^\circ\text{C}$  в течение 20 h на воздухе образцы подвергались отжигу в токе кислорода при температуре  $920^\circ\text{C}$  в течение 70 h с последующим охлаждением со скоростью 5 K/min. Отжиг образца  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.96}$  при температуре  $800^\circ\text{C}$  в течение 2 h при постоянной откачке приводил к получению  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.1}$ .

Легирование образцов изотопом  $^{61}\text{Cu}$  проводилось диффузионным отжигом при  $450^\circ\text{C}$  в течение 30 min в токе кислорода (кроме образца  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.1}$ , который легировался диффузионным отжигом при  $650^\circ\text{C}$  в течение 30 min при откачке). Для контрольных образцов не отмечалось изменений структуры, величины  $T_c$  или содержания кислорода. Согласно [10], описанная процедура гарантирует вхождение изотопа  $^{61}\text{Cu}$  в медные узлы решетки.

Эмиссионные мессбауэровские спектры  $^{61}\text{Cu}$  ( $^{61}\text{Ni}$ ) снимались при 80 и 4,2 K на промышленном спектрометре, стандартным поглотителем служил сплав  $\text{Ni}_{0.86}\text{V}_{0.14}$  с поверхностной плотностью  $1500 \text{ mg/cm}^2$ . Типичные спектры приведены на рисунке 1.

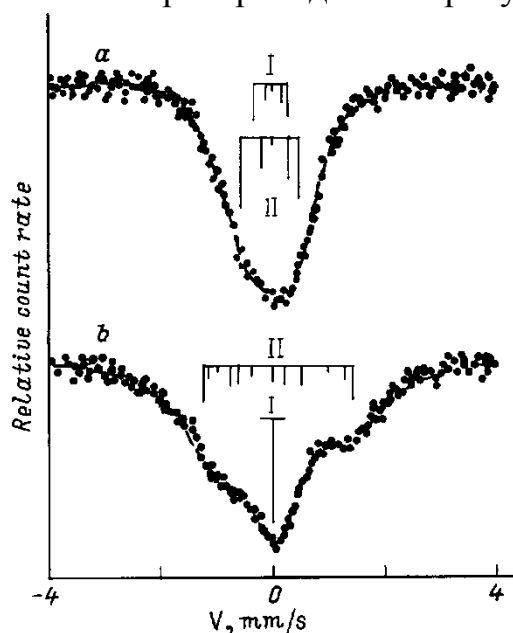


Рисунок 1. Эмиссионные мессбауэровские спектры  $^{61}\text{Cu}$  ( $^{61}\text{Ni}$ ) при 80 K керамик  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.96}$  (a) и  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.1}$  (b). Показано положение компонент мультиплетов, отвечающих центрам  $^{61}\text{Ni}^{2+}$  в узлах Cu (1) (I) и Cu (2) (II)

В Y-системе атомы меди занимают две кристалло-графически неэквивалентные позиции Cu (1) и Cu (2), заселенные как 1:2. В соответствии с этим экспериментальные мессбауэровские спектры  $^{61}\text{Cu}$  ( $^{61}\text{Ni}$ ) указанных керамик мы представляли, как наложение двух мульт-

типлетов, отвечающих центрам  $^{61}\text{Ni}^{2+}$  в узлах Cu (1) и Cu (2). Каждый мультиплет описывался суперпозицией либо пяти линий с относительными интенсивностями 10 : 4 : 1 : 6 : 9 (в случае чистого квадрупольного взаимодействия), либо двенадцати линий с относительными интенсивностями 10 : 4 : 1 : 6 : 6 : 3 : 3 : 6 : 6 : 1 : 4 : 10 (в случае комбинированного квадрупольного и зеемановского взаимодействий), а положение линий мультиплета определялось как разность собственных значений  $E_m^I$  гамильтониана комбинированного сверхтонкого взаимодействия возбужденного и основного состояний  $^{61}\text{Ni}$

$$E_m^I = mg\beta_N H + \left\{ eQU_{zz} / 4I(2I-1) \right\} \times \\ \times \left\{ 3m^2 - I(I+1) \right\} \left\{ (3\cos^2\theta - 1) / 2 \right\},$$

где  $I$  – спин ядра;  $H$  – магнитное поле на ядре;  $U_{zz}$  – главная компонента тензора градиента электрического поля (ГЭП) на ядре;  $\theta$  – угол между главной осью тензора ГЭП и направлением магнитного поля;  $m$  – магнитное квантовое число;  $Q$  – квадрупольный момент ядра,  $g$  – ядерный  $g$ -фактор;  $\beta_N$  – ядерный магнетон. Приведенная формула справедлива для аксиально-симметричного тензора ГЭП как для  $gH \gg eQU_{zz}$ , так и для  $H = 0$  (но в последнем случае следует брать  $\theta = 0^\circ$ ).

Расчетный спектр подгонялся к экспериментальному методом наименьших квадратам, причем подгоночными параметрами были не параметры отдельных линий, а параметры гамильтониана  $H$  и  $U_{zz} \left\{ (3\cos^2\theta - 1) / 2 \right\}$ , а также положения центров тяжести мультиплетов. Поскольку в мессбауэровских спектрах  $^{61}\text{Ni}$  не наблюдается изомерного сдвига, мы следили за тем, чтобы центр тяжести расчетного мультиплета не отклонялся от нулевой скорости больше чем на  $\pm 0,05$  mm/s.

Мессбауэровский спектр  $^{61}\text{Cu}$  ( $^{61}\text{Ni}$ ) сверхпроводящей керамики  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.96}$  представляет собой суперпозицию двух квадрупольных мультиплетов, отвечающих центрам  $^{61}\text{Ni}$  (1) и  $^{61}\text{Ni}$  (2). На рисунке 1, а показаны положения компонент соответствующих мультиплетов и их относительные интенсивности. Отношение площадей под спектрами  $^{61}\text{Ni}$  (2) и  $^{61}\text{Ni}$  (1)  $P = 1,95$  (5), что близко к отношению заселенностей узлов Cu (2) и Cu (1). Полученные параметры спектров следующие:  $eQU_{zz} = 32$  (2) MHz для центров  $^{61}\text{Ni}$  (1) и  $eQU_{zz} = -54$  (2) MHz для

спектров  $^{61}\text{Ni}$  (2) (здесь  $Q$  – квадрупольный момент ядра  $^{61}\text{Ni}$  в основном состоянии).

Мессбауэровский спектр  $^{61}\text{Cu}$  ( $^{61}\text{Ni}$ ) полупроводниковой керамики  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.1}$  (рисунок 1, *b*) представляет собой суперпозицию квадрупольного мультиплета, отвечающего центрам  $^{61}\text{Ni}^{2+}$  в узлах Cu (1) ( $|eQU_{zz}| < 30$  МГц), и мультиплета, отвечающего центрам  $^{61}\text{Ni}^{2+}$  в узлах Cu (2), причем тонкая структура последнего спектра обязана своим происхождением комбинированному сверхтонкому (зеemanовскому и электрическому квадрупольному) взаимодействию  $eQU_{zz} = -48$  (3) МГц,  $H = 85$  (5) кОе,  $\theta = 90^\circ$  (10). Отношение площадей под спектрами  $^{61}\text{Ni}$  (2) и  $^{61}\text{Ni}$  (1) остается равным отношению заселенностей узлов Cu (2) и Cu (1) в решетке  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  ( $P = 1,97$  (5)). Спектры на рисунке 1 иллюстрируют возможности эмиссионной мессбауэровской спектроскопии на изотопе  $^{61}\text{Cu}$  ( $^{61}\text{Ni}$ ) для наблюдения магнитного упорядочения медной подрешетки керамики  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-z}$  при уменьшении содержания кислорода.

Мессбауэровский спектр  $^{61}\text{Cu}$  ( $^{61}\text{Ni}$ ) сверхпроводящей керамики  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{7.03}$  представляет собой наложение двух квадрупольных мультиплетов (рисунок 2, *a*), параметры которых близки к параметрам соответствующих спектров керамики  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.96}$ , хотя отношение площадей под спектрами  $^{61}\text{Ni}$  (2) и  $^{61}\text{Ni}$  (1) существенно отличается от ожидаемого значения ( $P = 4,0$  (4)). Это, очевидно, связано как с уменьшением доли центров Cu (1) (из-за частичного замещения части узлов Cu (1) примесными атомами железа), так и с влиянием на параметры мессбауэровских спектров  $^{61}\text{Ni}$  примесных атомов железа (что уменьшает долю невозмущенного спектра от атомов  $^{61}\text{Ni}$  (1)).

Для керамики  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}_{7.18}$ , в которой сверхпроводимость подавлена, в мессбауэровских спектрах  $^{61}\text{Cu}$  ( $^{61}\text{Ni}$ ) наблюдается зеemanовское расщепление (рисунок 2, *b*). К сожалению, разрешение спектров последней керамики оказалось недостаточным для выделения из экспериментальных спектров компонент, отвечающих центрам  $^{61}\text{Ni}^{2+}$  в узлах Cu (1) и Cu (2). Таким образом, как и в случае керамик  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-z}$ , для керамик  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Fe}_x\text{O}_{7+y}$  имеется очевидная корреляция между появлением магнитного упорядочения одной из медных подрешеток и исчезновением явления сверхпроводимости.

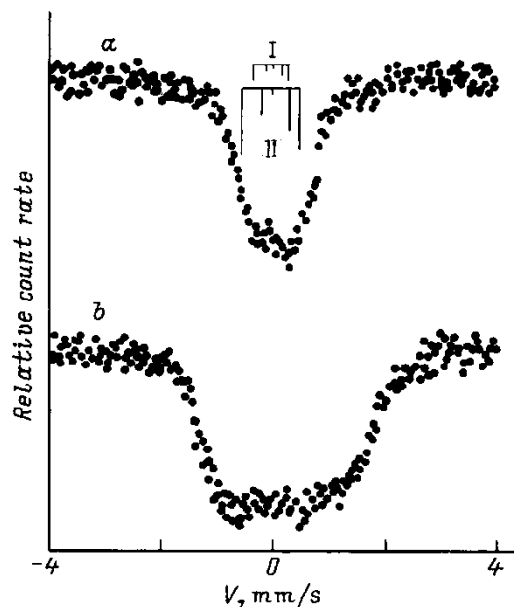


Рисунок 2. Эмиссионные мессбауэровские спектры  $^{61}\text{Cu}$  ( $^{61}\text{Ni}$ ) при 4,2К керамик  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{7.03}$  (a) и  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}_{7.18}$  (b). Для спектра a показано положение компонент мультиплетов, отвечающих центрам  $^{61}\text{Ni}^{2+}$  в узлах Cu (1) (I) и Cu (2) (II)

Для керамики  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{7.03}$  были также измерены мессбауэровские спектры  $^{57}\text{Fe}$  (в качестве стандартного источника использовался  $^{57}\text{Co}$  в паллади). В согласии с литературными данными при  $T < 50$  К спектры представляют собой плохо разрешенные зеемановские мультиплеты, отвечающие примесным атомам железа в узлах Cu (1) в состоянии типа «спинового стекла». Таким образом, мы должны констатировать отсутствие корреляции между магнитным упорядочением примесных атомов железа в подрешетке Cu (1) и магнитным упорядочением медных подрешеток керамики  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{7.03}$ . Однако повышение концентрации железа (переход к  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}_{7.18}$ ) сопровождается как полным подавлением сверхпроводимости, так и появлением магнитного упорядочения медной подрешетки. Поскольку в последней керамике часть атомов железа стабилизируется в подрешетке Cu (2), очевидно, именно с этими атомами железа и следует связывать появление магнитного упорядочения медной подрешетки.

Р. В. Бучко, магистр физ-мат. наук, мл. науч. сотр.  
(ИФ им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, г. Минск);

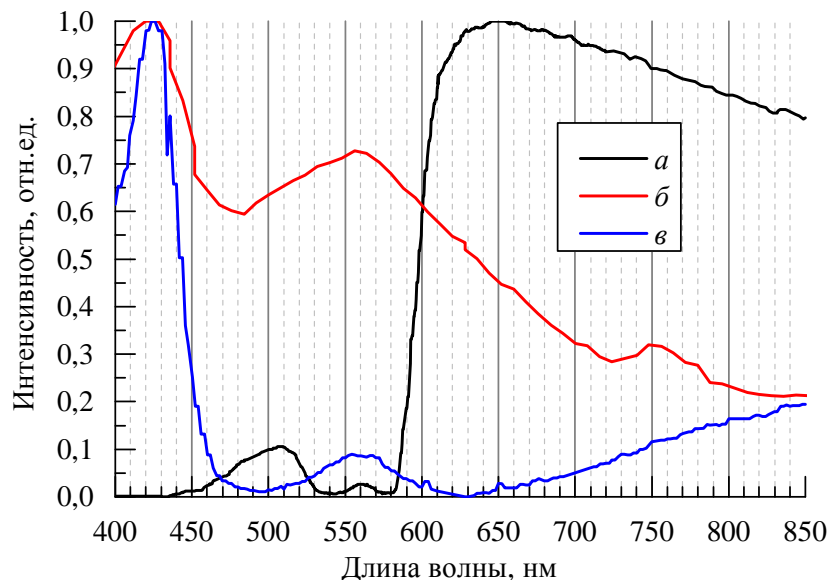
М. С. Снежко, инж. II кат.; Р. Ю. Микулич, асп.  
(ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», г. Минск)

## **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВЕН ЧЕЛОВЕКА**

В настоящее время во всем мире большое внимание уделяется разработке и созданию медицинских приборов, а также неинвазивным и бесконтактным методам их работы. Существующими методами контроля качества венопункции являются: ультразвуковой метод, оптический метод и тактильные методы. Наилучшим с точки зрения надежности, простоты эксплуатации и ресурсоемкости приборов является оптический метод. Оптический метод визуализации вен, основан на различии коэффициентов отражения излучения для венозной крови и мягких биологических тканей.

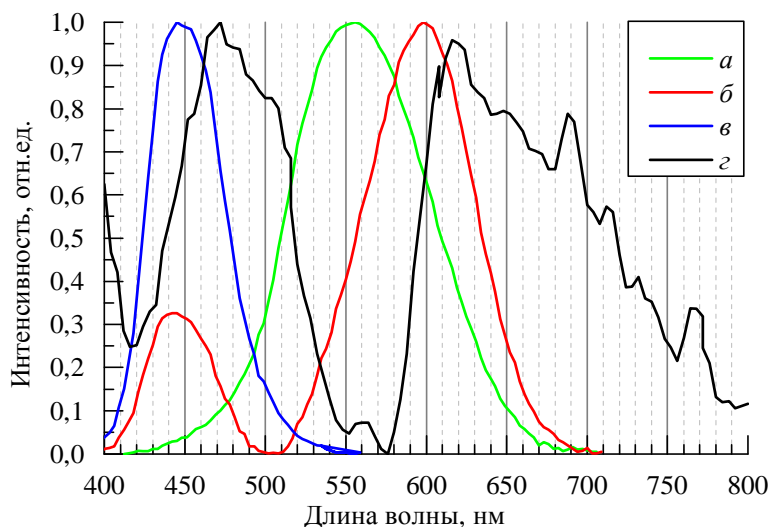
Проекционный визуализатор состоит из сканирующей вены ИК (ближнего инфракрасного диапазона) оптопары источник-приемник излучения, системы зеркал, проекционного источника излучения изображения вен, а также блока обработки информации. Инфракрасный свет сканирующего источника излучения проходит через эпидермис (при этом выбирается диапазон, в котором эпидермис прозрачен), после отражаясь от вен, попадает в приемник излучения. Излучение проецируется и сканируется за счет действия системы зеркал. После этого информация полученная приемником обрабатывается и передается на проекционный источник видимого излучения, который формирует видимый глазом человека изображения вены на коже человека. В качестве сканирующей оптопары источник-приемник используют оптопару лазер-фотодиод. Сканирующую оптопару, систему и зеркал можно заменить на лазерный проектор на основе на микромеханической МЭМС DLP микросхемы (либо на основе жидкокристаллического дисплея). Использование матричных приемников излучения позволит получить больше деталей, а также даст возможность сохранения и передачи полученных результатов визуализации.

Из рисунка 1 видно, что для сканирующего источника излучения спектральный диапазон будет находиться от 700 нм до 850 нм. Выбор диапазона обусловлен следующими причинами: от 850 нм наблюдается спад спектра отражения крови (будет наблюдаться малый контраст между спектрами отражения кожи и вен человека); стоимость на излучатели с длиной волны от 850 нм резко возрастает; на спектре в длинноволновом участке (вблизи 700 нм) чувствительности глаза наблюдается минимум (рисунок 2.).



**Рисунок 1 - Наложение спектра отражения крови (а), спектра поглощения крови (б) и спектра поглощения кожи человека (в)**

Как видно из рисунка 2 для проецирующего источника излучения спектральный диапазон будет находиться в максимумах спектров чувствительности «синих» (450 нм) и «красных» колбочек (600 нм).



**Рисунок 2 - Наложение спектров светочувствительности колбочек глаза («синих» - (а), «зеленых» - (б) и «красных» - (в) колбочек) и спектра отражения кожи (г)**

Экономически выгодными и энергоэффективными приемниками сканирующего источника в данном диапазоне (400–900 нм) являются кремневые фотодиоды с широким спектром чувствительности (200–1100 нм). В качестве источников излучения целесообразно использовать энергоэффективные и компактные полупроводниковые лазерные диоды с длинами волн излучения 780, 808 и 840 нм для скани-



рующего источника и 450 и 638 нм для проецирующего источника.

Полупроводниковые лазерные диоды обладают большой расходимостью излучения, вследствие чего им необходима коллимационная оптика. Современные САПР позволяет моделировать все элементы сканирующей и проецирующей системы, что упрощает конструирование визуализатора вен. Необходимо выделить также, что САПР позволяет рассчитать в смоделированных оптических системах дифракционное и геометрическое распределение энергии (профиля), что будет необходимо для расчета класса лазерной системы (с учетом оптической мощности и профиля пучка лазера), что важно для медицинских и повседневных приборов, взаимодействующих непосредственно с людьми. Расчет максимальных оптических мощностей лазерных источников следует основывать на санитарных правилах и нормах, с учетом того факта, что предельно допустимый уровень для глаз и кожи пациентов, врачей и обслуживающего персонала устанавливаются в соответствии с нормами для хронического облучения. В зависимости от освещения в помещении необходимо исследовать фоновую обстановку. Для этого необходимо использовать датчик освещенности (люксметр) и датчик цвета (три и более фотодиода с цветными фильтрами). По обратной связи, полученной с датчиков освещенности и цвета, устанавливается требуемый уровень максимальный оптической мощности лазеров.

*Работа частично поддержана грантом БРФФИ Ф19М-024.*

УДК 631.563.2:517.11

В. Н. Василенко, д-р техн. наук, проф.;

Л. Н. Фролова, д-р техн. наук, проф.;

Н. А. Михайлова, канд. техн. наук, ассист.;

И. В. Драган, канд. техн. наук, доц.;

А. А. Щепкина, студ. (ФГБОУ ВО ВГУИТ, г. Воронеж)

## **ОБОСНОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СУШКИ СЕМЯН МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В ОСЦИЛЛИРУЮЩИХ РЕЖИМАХ**

При организации кормовой базы особое внимание должно быть обращено на улучшение качества кормов и прежде всего на повышение в них протеина и незаменимых аминокислот. Важным резервом увеличения производства протеина являются масличные культуры: рапс, сурепица, подсолнечник, лен, рыжик и др., которые удачно сочетают в себе большую потенциальную продуктивность семян с высоким содержанием масла и протеина при его оптимальной сбалансированности

по аминокислотному составу.

Установлено, что за счет применения теплового воздействия можно обеспечить высокое качество семян масличных культур, увеличить сроки их хранения и эффективно использовать в кормопроизводстве. Одним из способов стабилизации качества семян с повышенным содержанием жирных кислот является сушка в осциллирующих режимах, которая осуществляется чередованием нагрева и охлаждения, что позволяет в значительной степени обеспечить сохранность готового продукта при длительных сроках хранения [1-4].

Для определения температуры сушильного агента на интервалах нагрева и охлаждения масличных культур использовалось уравнение теплового баланса:

$$\frac{d\rho_3(\tau,h)c_3\theta(\tau,h)}{d\tau} = \alpha_v [T_{ca}(\tau,h) - \theta(\tau,h)] - r \cdot \frac{d\left(\frac{W_H(\tau,h)}{100 + W_H(\tau,h)}\rho_3(\tau,h)\right)}{d\tau}. \quad (1)$$

где  $\alpha_v$  - объемный коэффициент теплообмена, Вт/(м<sup>3</sup>·К);  $r$  - теплота парообразования, кДж/кг;  $\rho_3$  - насыпная плотность семян рапса, кг/м<sup>3</sup>;  $c_3$  - удельная теплоемкость семян рапса, Дж/(кг·К);  $q$  - удельная нагрузка рапса на газораспределительную решетку сушильной установки, Н/м<sup>2</sup>.

Температура продукта при осциллирующих режимах изменялась по косинусоидальному закону:

$$\theta_{\Delta\tau_i} = \left[ A_0 \cos\left(\frac{2\pi\tau_{yч}}{T} - M\right) \left( T_{c.a.i} - \theta_{\Delta\tau_{(i-1)}} \right) / (K_0 + 1) \right] + \theta_{\Delta\tau_{(i-1)}}, \quad (2)$$

где

$$0 < \tau_{yч} \leq \frac{\tau}{2}, \quad A_0 = \left( 1 + \frac{2}{H} \sqrt{\frac{\pi}{\alpha \cdot \tau}} + \frac{2\pi}{H^2 \cdot \alpha \cdot \tau} \right)^{\frac{1}{2}},$$

$$M = \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\alpha \cdot \tau}{\pi}}} \right), \quad H = \frac{\alpha}{\lambda}. \quad (3)$$

где  $\theta_{\Delta\tau_i}$  - температура семян рапса на последующем расчетном уча-

стке, К;  $\theta_{\Delta\tau_{(i-1)}}$  – то же на предыдущем расчетном участке, К;

$A_0$  – максимальная амплитуда колебаний температуры, равная амплитуде колебаний температуры ограничивающей поверхности, К;  $T$  – продолжительность циклов нагрева и охлаждения, мин;  $T_{c.a}$  – максимальная температура сушильного агента в цикле нагрева или охлаждения, К;  $\alpha$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;  $\bar{K}_0$  – среднее значение критерия Коссовича;  $M$  – смещение по фазе колебаний температуры поверхности семян рапса по сравнению с колебанием температуры сушильного агента;  $H$  – относительный коэффициент теплообмена;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к частице семян рапса Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности единичных частиц семян рапса, Вт/(м·К).

Уравнение (1) относительно температуры сушильного агента принимает вид:

$$T_{c.a.i} = \left[ \frac{\rho_3(\tau_i, h) c_3(W_i, \tau_i, h) \theta(\tau_i, h)}{\alpha_v} - \left( \frac{\rho_3(\tau_{i-1}, h) c_3(W_i, \tau_i, h)}{\alpha_v} - (\tau_i - \tau_{i-1}) \right) \times \right. \\ \left. \times \left( A_0 \cos \left( \frac{2\pi\tau_{yч}}{T} - M \right) (T_{c.a.i-1} - \theta(\tau_{i-1}, h)) / \alpha_v (\bar{K}_0 + 1) \right) - \right. \\ \left. - \frac{r}{\alpha_v} \left[ \frac{(\theta_0 - \theta(\tau_i, h)) / h}{100} \rho_{\Pi}(\tau_i, h) - \frac{(\theta_0 - \theta)(\tau_{i-1}, h) / h}{100} \rho_3(\tau_{i-1}, h) \right] \right]. \quad (5)$$

Теплоемкость семян рапса рассматривалась как средняя величина между теплоемкостью воды и теплоемкостью абсолютно сухих веществ:

$$c_3(\tau_i, h) = c_0 + \frac{W(\tau_i, T_{c.ai}, v_i, x_{Hi}, h)}{100 + W(\tau_i, T_{c.ai}, v_i, x_{Hi}, h)} (c_B - c_0). \quad (6)$$

Насыпная плотность определялась из уравнения баланса по сухим веществам с учетом порозности и усадки слоя в процессе сушки:

$$\rho_3(\tau_i, h) = \frac{(1 - \varepsilon(0)) h_0 \left( 1 - \frac{W_H}{100 + W_H} \right) \rho_3(1 + \beta W(\tau_i, T_{c.ai}, v_i, x_{Hi}, h))}{\int_0^{h(\tau_i)} \left[ (1 + \beta W(\tau_i, T_{c.ai}, v_i, x_{Hi}, h)) \left( 1 - \frac{W(\tau_i, T_{c.ai}, v_i, x_{Hi}, h)}{100 + W(\tau_i, T_{c.ai}, v_i, x_{Hi}, h)} \right) \right] dy}. \quad (7)$$

Полученное уравнение позволяет определять температуру сушильного агента на каждом шаге дискретизации на интервалах нагрева и охлаждения.

Задача (1)–(7) решена методом итераций, программный комплекс которого составлен на языке Turbo Pascal 7.0 в среде Windows 2007 к ЭВМ Pentium IV при следующих начальных условиях:  $\rho_3(\tau, h) \Big|_{\tau=0} = \rho_3$ ,  $\theta(\tau, h) \Big|_{\tau=0} = \theta_0$ ,  $T(\tau, h) \Big|_{\tau=0} = T_{c.a.}$

Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными по сушке масличных культур показало, что отклонение расчетных и экспериментальных данных не превышало 12%.

Полученное решение (1–7) позволяет определять температуру масличных культур на интервалах нагрева и охлаждения при осциллирующей сушке и открывает перспективы коррекции температурных режимов в допустимой области термовлажностных условий высушиваемого продукта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Математическое описание процесса сушки семян рапса в осциллирующих режимах / А. А. Шевцов [и др.] // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. - 2011. - № 10. - С. 73–75.

2. Развитие малого инновационного предпринимательства в АПК на основе использования методики форсайта / В. Н. Василенко [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2013. - № 2. - С. 223–226.

3. Ресурсосберегающее оборудование нового поколения для переработки масличного сырья / В. Н. Василенко [и др.] // Вестник машиностроения. - 2019. - № 04. - С. 74–75.

4. Создание энергоэффективного оборудования для переработки масличного сырья / В. Н. Василенко [и др.] // Вестник машиностроения – 2017. - № 01. - С. 87–88.

**УПРАВЛЕНИЕ РАССЕЯНИЕМ СВЧ-ПОЛЯ ЗА СЧЕТ  
ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Интерес представляет исследование диэлектрического отклика сегнетоэлектрика на высокочастотное электрическое поле с относительно невысокими напряженностями при нормальных условиях. В работе для экспериментальных исследований использовался сегнетоэлектрический материал титанат кальция ( $\text{CaTiO}_3$ ), характеристики которого хорошо изучены в СВЧ-диапазоне. Основными требованиями к исследуемому материалу были: диэлектрическая проницаемость со значением выше 100 и отсутствие ее частотной дисперсии в СВЧ-диапазоне, а также минимальная величина тангенса угла диэлектрических потерь.

Проведено исследование дисперсии диэлектрической проницаемости  $\text{CaTiO}_3$  под воздействием высокочастотного электрического поля мостовым методом. Обнаружено проявление резонансных свойств материала на частоте 60 МГц, обусловленных колебаниями стенок доменов. Результаты эксперимента показали, что материал в высокочастотном поле (40-70 МГц) может изменять значение диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  от 150 до 3270.

Проведены измерения зависимости диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрического материала от напряженности ВЧ-поля мостовым методом на резонансной частоте сегнетоэлектрического материала 60 МГц. При значениях напряженности ВЧ-поля до 0,9 В/см диэлектрическая проницаемость материала максимальна, а при дальнейшем увеличении напряженности – уменьшается.

Наблюдаемая нелинейность диэлектрической проницаемости материала обусловлена процессами поляризации и переполяризации.

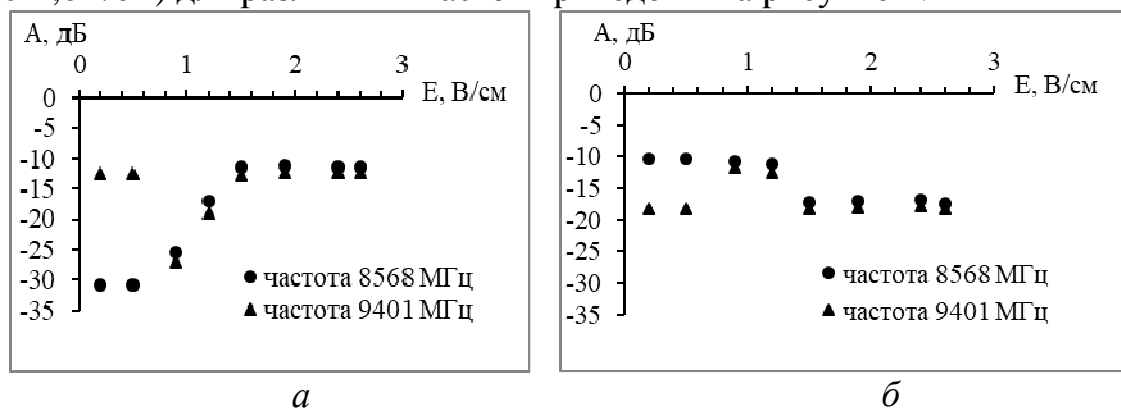
Измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь сегнетоэлектрического материала в СВЧ диапазоне проводились пространственным методом. Управление диэлектрическими характеристиками сегнетоэлектрика осуществлялось однородным ВЧ-полем.

Обнаружено, что диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектрического материала  $\text{CaTiO}_3$  не обладает частотной дисперсией в СВЧ-диапазоне (7,5–10,5 ГГц), и в условиях воздействия внешнего ВЧ-поля пространственная дисперсия материала определяется поляризацией управляющего электрического поля. Величина диэлектриче-

ской проницаемости на резонансной частоте (55–70 МГц) определяется амплитудой управляющего поля и изменяется в диапазоне от 3000 до 150 [1, 2].

Экспериментально исследовано рассеяние электромагнитных волн СВЧ-диапазона на фрагменте периодической решетки из сегнетоэлектрических элементов в виде брусьев, установленных нормально к направлению распространения СВЧ-поля.

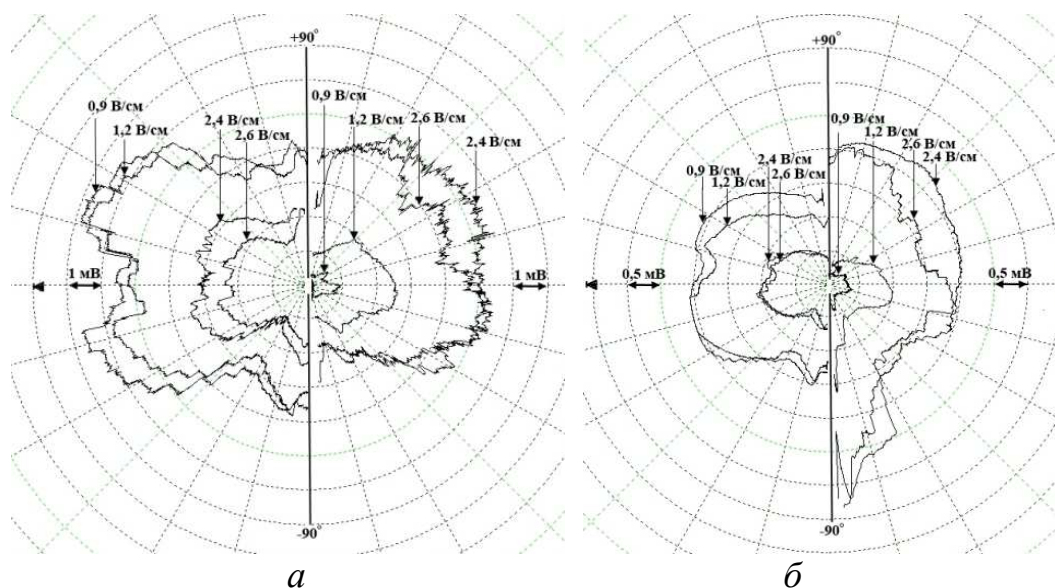
Наличие управляющего ВЧ-поля, а также изменение его напряженности приводит к изменениям диэлектрических параметров решетки, а, следовательно, и амплитуды рассеянного электромагнитного поля. Амплитудные значения напряжения на детекторной головке приемной антенны для рассеянного СВЧ-поля при нормальном падении при различных величинах напряженности управляющего ВЧ-поля (0–2,6 В/см) для различных частот приведены на рисунке 1.



Апр, дБ – амплитудные значения напряжений на приемной детекторной головке; E, В/см – напряженность управляющего поля

**Рисунок 1 - Амплитудные значения напряжений на приемной головке детектора для прошедшего (а) и отраженного (б) полей СВЧ-диапазона для различных напряженностей управляющего ВЧ-поля**

Диаграммы рассеяния нормально падающего СВЧ-поля на фрагменте решетки представлены путем наложения друг на друга в целях удобства сравнения их размеров и формы (рисунок 2). Значение напряжения на детекторной головке приемной антенны для прошедшего и отраженного полей так же указываются на рисунке. При увеличении напряженности управляющего поля наблюдается изменение амплитуд прошедшего и отраженного полей, а также изменение формы диаграмм рассеяния.



**Рисунок 2 – Диаграммы рассеяния СВЧ-поля на фрагменте решетки с сегнетоэлектрическими элементами частотой 8,57 ГГц (а) и частотой 9,4 ГГц (б)**

Результаты исследования показывают потенциальную возможность использования резонансного воздействия внешнего высокочастотного электрического поля на поляризацию сегнетоэлектрика для управления рассеянием электромагнитного излучения СВЧ-диапазона без участия в этом процессе каких либо механических воздействий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Распространение электромагнитных волн СВЧ-диапазона в управляемых двумерных периодических структурах / Ю. М. Рычков [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. - 2010. - Т. 54, № 1. - С. 50–53.
2. Использование высокочастотного резонанса сегнетоэлектрических материалов для управления характеристиками рассеяния СВЧ-излучения / Д. В. Заерко [и др.] // Вестник БГУ Сер. 1 Физика, математика, информатика. - 2017. - № 3. - С.65-72.

## УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЭНЕРГИИ В СПЕКТРЕ РАССЕЯННОГО СВЧ И ОПТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Управление рассеянием излучения на объектах с помощью изменения свойств последних является актуальной проблемой техники. В качестве перспективных элементов рассматриваются и исследуются периодические структуры с изменяющимися электрофизическими характеристиками. Модельные объекты на основе материалов с изменяющимся коэффициентом диэлектрической проницаемости позволяют изучить особенности рассеяния электромагнитных полей в пространстве с целью выработки рекомендаций по разработке управляющих устройств, работающих в оптическом и радиодиапазонах.

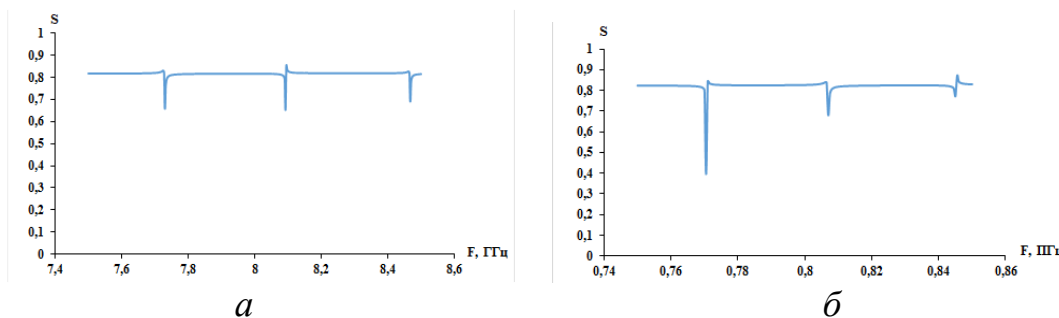
Целью данной работы является исследование возможностей управления рассеянием поля сантиметрового и нанометрового диапазонов на периодических решетках из сегнетоэлектрических элементов в виде брусьев прямоугольного сечения. Предметом исследований являются закономерности рассеяния электромагнитных волн сантиметрового и нанометрового диапазонов в решетке из диэлектрических брусьев с управляемыми электрофизическими характеристиками.

Параметры структуры в оптическом диапазоне рассчитывались аналогично соответствующим значениям для СВЧ-диапазона [1, 2].

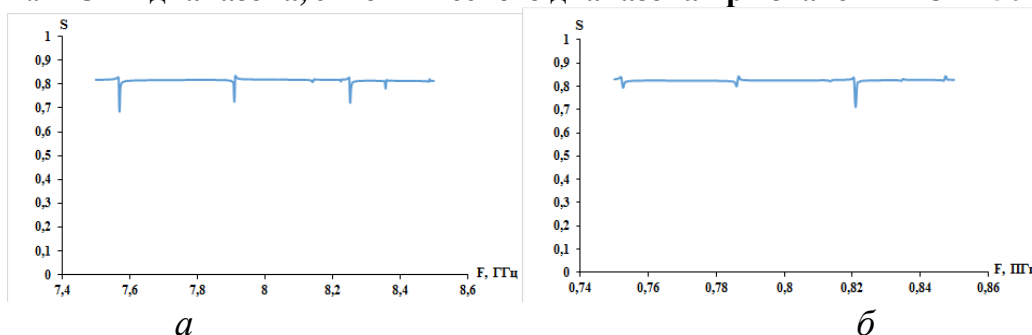
Результаты численного исследования показали наличие зависимости коэффициентов отражения и прохождения от диэлектрической проницаемости брусьев периодической решетки. Установлено, что при конструктивных параметрах решетки, обеспечивающих существование гармоник различных порядков, фиксированных частоте и направлении распространения падающей электромагнитной волны, управление диэлектрической проницаемостью элементов решетки приводит к изменению амплитуд гармоник спектра.

Модель периодической структуры на основе диэлектрических брусьев с периодом 4,5 см для СВЧ-излучения и 450 нм для оптического диапазона обеспечивает распространение гармоник высших порядков. Установлено изменение перераспределения энергии гармоники  $TE(0,0)$  в спектре прошедшего и отраженного поля в зависимости от значений диэлектрической проницаемости брусьев структуры. На рисунках 1 и 2 представлены графики изменения  $S$ -параметров гармоники  $TE(0,0)$  для рассматриваемых диапазонов при различных значениях диэлектрической проницаемости.





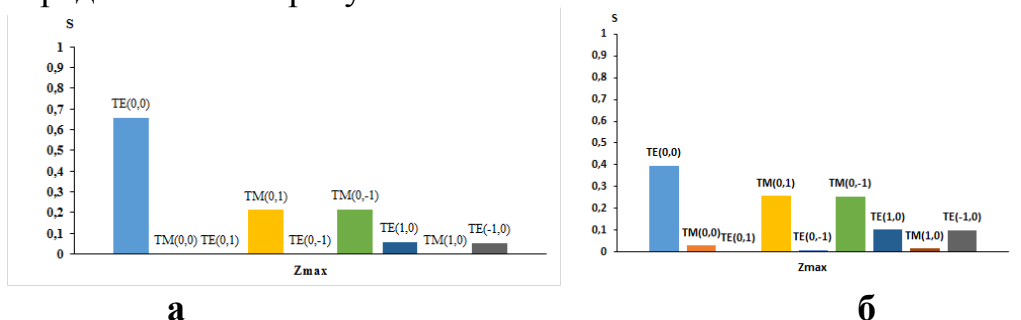
**Рисунок 1 – Изменение значений  $S$ -параметров  $TE(0,0)$  для  $a$  – СВЧ диапазона,  $b$  – оптического диапазона при значениях  $\epsilon = 150$**



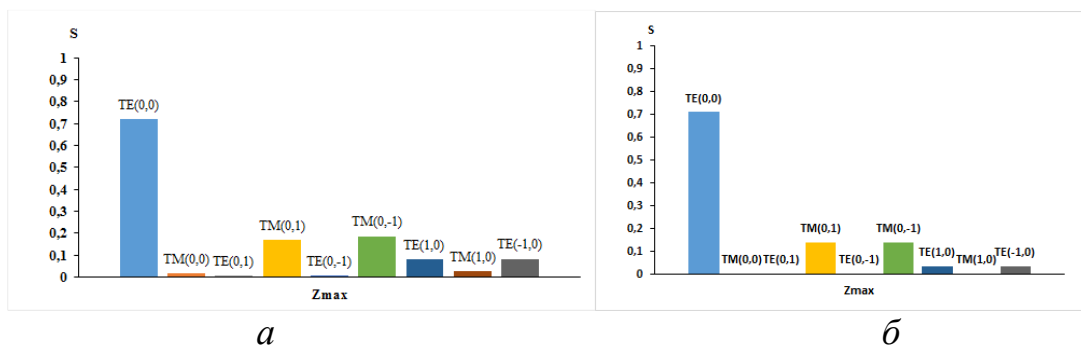
**Рисунок 2. – Изменение значений  $S$ -параметров  $TE(0,0)$  для СВЧ диапазона ( $a$ ) и оптического диапазона ( $b$ ) при значениях  $\epsilon = 250$**

Распространение электромагнитных волн рассматриваемых диапазонов частот в периодических решетках носит аналогичный характер: при одном значении диэлектрической проницаемости брусьев изменения значений  $S$ -параметров гармоники  $TE(0,0)$  происходит на одинаковых численных значениях частот с учетом исследуемого диапазона.

Уменьшение амплитуды гармоники  $TE(0,0)$  сопровождается передачей энергии остальному спектру. Перераспределение энергии в спектре зависит от диэлектрической проницаемости элементов решетки. Диаграмма распределения энергии  $TE(0,0)$  в гармоники рассеянного спектра при различных значениях диэлектрической проницаемости вставок периодической структуры для СВЧ- и оптического диапазонов представлена на рисунках 3 и 4.



**Рисунок 3. –  $S$ -параметры прошедшего излучения для  $TE(0,0)$  при  $\epsilon = 150$  для:  $a$  – СВЧ диапазона на частоте  $f = 7,7$  ГГц;  $b$  – оптического диапазона на частоте  $f = 0,77$  ПГц**



**Рисунок 4 – S-параметры прошедшего излучения для  $TE(0,0)$  при  $\epsilon = 250$  для: а – СВЧ диапазона на частоте  $f = 8,2$  ГГц; б – оптического диапазона на частоте  $f = 0,82$  ПГц**

При сохранении постоянных значений  $S$ -параметров  $TE(0,0)$  в диапазоне частот перераспределение энергии по гармоникам отсутствует. Значения  $S$ -параметров спектра гармоник отраженного поля сохраняются постоянными (отклонение в пределах  $0,1$ ).

Перераспределение энергии наблюдается между модами с различной поляризацией. Причем номера гармоник, получивших энергию, и количество перераспределенной энергии зависит от частоты и диэлектрической проницаемости материала [1, 2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование рассеяния электромагнитных волн СВЧ-диапазона на структурах с изменяемыми электрофизическими параметрами/ Д. В. Заерко [и др.] // Вестник БГУ Сер.1 Физика, математика, информатика. - 2016. - № 3. - С. 90-96.

2. Моделирование диэлектрических решеток с возможностью управления перераспределением энергии в спектре рассеянного СВЧ и оптического электромагнитных полей/ Л. А. Калоша [и др.] // Проблемы физики, математики и техники. - 2017. - № 2(31). - С. 20-23.

УДК 004.94

Е. В. Конопацкий, канд. техн. наук, доц.; О. А. Шевчук, ассис.  
(ГОУ ВПО «ДОННАСА», г. Макеевка)

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИНТЕРПОЛЯНТОВ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Основная задача численного решения дифференциальных уравнений заключается в аппроксимации решения исходного дифференциального уравнения с помощью различных функций, чаще всего тригонометрических. Использование для этой цели интерполянтов, в том

числе и геометрических, позволяет получить ряд преимуществ. Главным положительным моментом является то, что такой подход исключает необходимость проведения интерполяции для вычисления значений в промежуточных точках и значительно уменьшает «кусочность» аппроксимируемой функции. Важным преимуществом использования геометрических интерполянтов является также возможность численного решения сложных дифференциальных уравнений на любой сети точек, сохраняя при этом криволинейную составляющую, что обеспечивает учёт геометрической нелинейности при решении задач на прочность и устойчивость. При этом сохраняется возможность геометрического моделирования физической, конструктивной, генетической и других видов нелинейности.

Термин геометрический интерполянт стал следствием развития геометрической теории многомерной интерполяции [1] для геометрического моделирования многофакторных процессов и представляет собой многопараметрический геометрический объект, проходящий через наперёд заданные точки, координаты которых соответствуют исходным экспериментально-статистическим данным. Основным инструментом геометрической теории многомерной интерполяции является использование дуг алгебраических кривых, проходящих через наперёд заданные точки, полученных на основе полиномов Бернштейна. Впоследствии, геометрический интерполянт стал основой развития геометрической теории многомерной аппроксимации [2], как инструмент обобщения метода наименьших квадратов на многомерное пространство [3]. В этом случае выбираются такие координаты точек геометрического интерполянта, которые обеспечивают минимальное отклонение узловых точек аппроксимации от исходных. И наконец, был предложен способ аппроксимации, который предусматривает не минимизацию суммы квадратов отклонений расчётных значений от исходных, а особые, наперёд заданные свойства, которыми должен в результате обладать аппроксимирующий геометрический объект. Таким образом, результатом численного решения дифференциального уравнения будет геометрический интерполянт, обеспечивающий в узловых точках интерполяционной сети, особые дифференциальные характеристики, соответствующие исходному дифференциальному уравнению.

Предложенный метод аппроксимации решения дифференциальных уравнений прошёл успешную апробацию при решении различных уравнений математической физики. Например, для решения неоднородного уравнения теплопроводности однородного стержня с начальными и граничными условиями оказалось достаточно 16-точечного

интерполянта, чтобы обеспечить высокий уровень достоверности полученных результатов [4]. Следует отметить, что полученная полиномиальная зависимость гораздо удобнее для инженерных расчётов по сравнению с аналогичным решением классическим методом разделения переменных с помощью тригонометрических функций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Конопацкий, Е. В. Принципы построения компьютерных моделей многофакторных процессов методом многомерной интерполяции / Е. В. Конопацкий // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции: «Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПИИВС-2018)» 14-15 ноября 2018 г. - Донецк: ДонНТУ, 2018. - С. 277-287.

2. Конопацкий, Е. В. Аппроксимация геометрических объектов многомерного пространства с помощью дуг кривых, проходящих через наперёд заданные точки / Е. В. Конопацкий, С. И. Ротков // Труды 29-й Международной конференция по компьютерной графике и машинному зрению «GraphiCon 2019». 23-26 сентября 2019 г. - Брянск: БГТУ, 2019. - С. 191-195.

3. Конопацкий, Е. В. Геометрический смысл метода наименьших квадратов / Е. В. Конопацкий // Вестник компьютерных и информационных технологий. - М.: 2019, № 9. - С.11-18. – DOI: 10.14489/vkit.2019.09.pp.011-018.

4. Конопацкий, Е. В. Моделирование аппроксимирующего 16-точечного отсека поверхности отклика, применительно к решению неоднородного уравнения теплопроводности / Е. В. Конопацкий // Геометрия и графика. - М.: Инфра-М, 2019. - Т. 7, № 2. - С.38-45. DOI: 10.12737/ /article\_5d2c1a551a22c5.12136357.

## ДИНАМИКА ВАЛКОВОЙ ПАРЫ ПРИ ПОДАЧЕ ПЛОСКОГО МАТЕРИАЛА В ЗОНУ ОБРАБОТКИ

Основные проблемы решаемые легкой промышленностью в первую очередь состоят из удовлетворения потребителей качественными товарами. Развитие рыночных отношений в стране непосредственно связана с улучшением качества продукта, повышением конкурентоспособности товаров и продуктивностью их производства. Это в основном зависит от улучшения технологических возможностей оборудований, а именно создание технологических машин обрабатывающие кожевенные материалы многофункционального назначения [1].

Итак, рассмотрим динамику валковой пары технологической машины для обработки плоского материала при подаче последнего в зону обработки в горизонтальном направлениях.

Для технологической машины обрабатывающей плоский материал в горизонтальном направлении валковой парой в качестве обобщенной координаты выбираем угол захвата  $\alpha$ . В этом случае, плоский материал в зону захвата валковой парой подается посредством транспортирующего устройства.

Для составления уравнения движения валов, рассчитаем кинетическую энергию плоского материала и валов. Плоский материал перемещается поступательно и его кинетическая энергия  $T_1$  равна следующему:

$$T_1 = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}^2, \quad (1)$$

здесь,  $m_1$  – масса плоского материала.

Из рисунка 1 видно, что валы перемещаются плоскопараллельно и их кинетическая энергия равна следующему:

$$T_2 = T_3 = \frac{1}{2} m_2 \dot{y}^2 + \frac{1}{2} J_2 \omega_2^2, \quad (2)$$

здесь  $T_2 = T_3$  – кинетическая энергия валов,  $m_2 = m_3$  – масса валов;  $J_2$  – момент инерции вала.

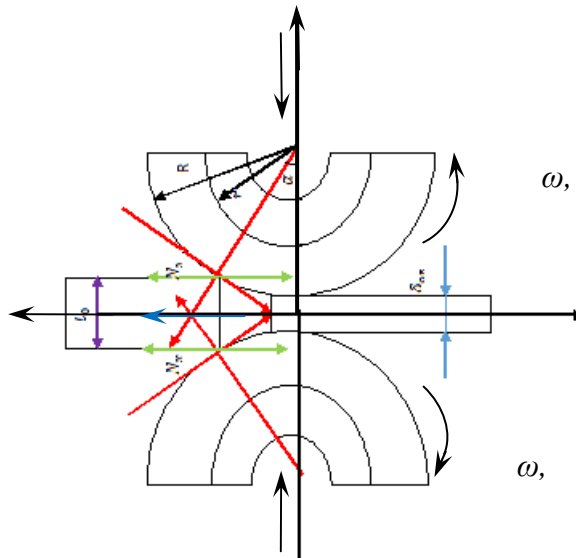
В рассматриваемой системе координат для угла захвата  $\alpha$  получа-

ем следующее выражение:

$$x = \left( R + \frac{t_0}{2} \right) \sin \alpha, \quad y = \left( R + \frac{t_0}{2} \right) \cos \alpha. \quad (3)$$

Если получить производное от выражения (3) получится следующее.

$$\dot{x} = \left( R + \frac{t_0}{2} \right) \dot{\alpha} \cos \alpha, \quad \dot{y} = - \left( R + \frac{t_0}{2} \right) \dot{\alpha} \sin \alpha. \quad (4)$$



**Рисунок 2 – Схема подачи плоского материала между валковой парой в горизонтальном направлении**

Для составления уравнения движения валов воспользуемся уравнением движения Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} - \frac{\partial T}{\partial \alpha} = Q_{\alpha}, \quad (5)$$

здесь  $Q_{\alpha}$  - обобщенная сила.

Учитывая выражения (1), (2) и (4), рассчитаем общую кинетическую энергию.

$$\begin{aligned} T = T_1 + T_2 + T_3 &= \frac{1}{2} m_1 \dot{x}^2 + 2 \left( \frac{1}{2} m_2 \dot{y}^2 + \frac{1}{2} J_2 \omega_2^2 \right) = \\ &= \frac{1}{2} m_1 \dot{\alpha}^2 \left( R + \frac{t_0}{2} \right)^2 \cos^2 \alpha + m_2 \dot{\alpha}^2 \left( R + \frac{t_0}{2} \right)^2 \sin^2 \alpha + J_2 \omega_2^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Откуда, частное и полное производное общей кинетической энергии

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} = m_1 \dot{\alpha} \left( R + \frac{t_0}{2} \right)^2 \cos^2 \alpha + 2 m_2 \dot{\alpha} \left( R + \frac{t_0}{2} \right)^2 \sin^2 \alpha, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} = & m_1 \left( R + \frac{t_0}{2} \right)^2 \cos^2 \alpha \ddot{\alpha} - 2m_1 \left( R + \frac{t_0}{2} \right)^2 \sin \alpha \cos \alpha \dot{\alpha}^2 + \\ & + 2m_2 \left( R + \frac{t_0}{2} \right)^2 \sin^2 \alpha \ddot{\alpha} + 4m_2 \left( R + \frac{t_0}{2} \right)^2 \sin \alpha \cos \alpha \dot{\alpha}^2, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \alpha} = -m_1 \left( R + \frac{t_0}{2} \right)^2 \cos \alpha \sin \alpha \dot{\alpha}^2 + 2m_2 \left( R + \frac{t_0}{2} \right)^2 \sin \alpha \cos \alpha \dot{\alpha}^2. \quad (9)$$

Для расчета обобщенной силы, определим работу втягивающей силы с учетом принципа возможных перемещений [2].

$$\delta A_\alpha = Q_\alpha \delta \alpha. \quad (10)$$

Пользуясь выражением (10) для определения обобщенной силы, определим выполненную работу.

$$\delta A_\alpha = 2M_{вр} \delta \alpha - 2Q \delta y - P \delta y - F \delta x. \quad (11)$$

Перемещения валов  $\delta x$  и  $\delta y$  в выражение (11) будут равны следующему:

$$\delta x = \left( R + \frac{t_0}{2} \right) \cos \alpha \delta \alpha, \quad \delta y = - \left( R + \frac{t_0}{2} \right) \sin \alpha \delta \alpha. \quad (12)$$

Подставляя выражение (12) в (11), получим следующее выражение для определения обобщенной силы

$$Q_\alpha = (2Q + P) \left( R + \frac{t_0}{2} \right) \sin \alpha - F \left( R + \frac{t_0}{2} \right) \cos \alpha + 2M_{вр}, \quad (13)$$

здесь  $P$  - сила тяжести валов и плоского материала;  $Q=Q_2=Q_3$  - сила давления валов;  $F$  - сила сопротивления;  $M_{вр}$  - вращающий момент валов. Подставляя выражения (8), (9) и (13) в уравнение (5), получаем уравнение движения валов:

$$\begin{aligned} & \left( m_1 \cos^2 \alpha + 2m_2 \sin^2 \alpha \right) \left( R + \frac{t_0}{2} \right)^2 \ddot{\alpha} + \left( m_2 - \frac{m_1}{2} \right) \sin 2\alpha \left( R + \frac{t_0}{2} \right)^2 \dot{\alpha}^2 = \\ & = (2Q + P) \left( R + \frac{t_0}{2} \right) \sin \alpha - F \left( R + \frac{t_0}{2} \right) \cos \alpha + 2M_{вр}. \end{aligned} \quad (14)$$

На основе уравнений движения (14) приведенных выше из условий подачи плоского материала между валковой парой в горизонтальном направлениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Моисеев, Е.Ю. Исследование и разработка технологического оборудования для механической обработки кожевенных и обувных материалов: дис. ... канд. техн. наук / Е. Ю. Моисеев – М., 2005. – 179 л.
2. Бухгольц, Н.Н. Основной курс теоретической механики. Ч. 1. Кинематика, статика, динамика материальной точки: учеб. пособие / Н. Н. Бухгольц. - СПб.: Лань. - 2009. - 480 с.

**О РАЗРЕШИМОСТИ ОДНОРОДНОЙ СИСТЕМЫ ЧАСТИЧНО  
ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА**

Рассмотрим однородную систему линейных частично интегральных уравнений вида

$$\left\{ \begin{array}{l} f_0 + \lambda_1 \int_a^b a_1(t) f_1(t) dt = 0 \\ f_0 + f_1(x) + \lambda_2 a_2(x) \int_a^b a_2(t) f_1(t) dt + \lambda_3 a_3(x) \int_a^b a_3(t) f_2(x,t) dt = 0 \\ f_1(x) + f_2(x,y) + \lambda_4 a_4(x) \int_a^b a_4(t) f_2(t,y) dt + \lambda_5 a_5(y) \int_a^b a_5(t) f_2(x,t) dt = 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

где функции  $a_j(\cdot)$ ,  $j = \overline{1,5}$  принадлежат пространству  $L_2[a,b]$ ,  $f_0 \in C^1$ ,  $\lambda_i$ ,  $i = \overline{1,5}$  - числовые параметры;  $f_2(x,y) \in L_2([a,b]^2)$ ,  $f_1(x) \in L_2[a,b]$  - искомые функции.

В этой заметке изучена разрешимость однородной системы (1) при всех значениях параметров  $\lambda_i$ ,  $i = \overline{1,5}$  кроме случая  $\lambda_i \neq 0$ ,  $i = \overline{1,5}$ .

Всюду в дальнейшем интеграл понимается по отрезку  $[a,b]$ .

Основными результатами являются следующие.

Пусть детерминанты  $D_1(\lambda_1) = 1 + \lambda_1 \int_a^b a_1^2(t) dt$  Фредгольма [1] ядра с  $a_1(t)$ .

**Теорема 1.** Пусть  $\lambda_1 \neq 0$ ,  $\lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = 0$ , тогда

а) если  $D_1(\lambda_1) \neq 0$ , то система (1) имеет только нулевое решение:

$$\begin{pmatrix} f_0 \\ f_1(x) \\ f_2(x,y) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

б) если  $D_1(\lambda_1) = 0$ , то однородная система имеет решение

$$f_0 = f_0, f_1(x) = f_2(x,y) = f_0, \quad f_0 \in C^1, f_0 \neq 0$$

$D_2(\lambda_2) = 1 + \lambda_2 \int_a^b a_2^2(t) dt$  детерминант Фредгольма ядро  $K(x,t) = a_2(x)a_2(t)$ .



$$D_2(\lambda_2) = 1 + \lambda_2 \int a_2^2(t) dt.$$

**Теорема 2.** Пусть  $\lambda_2 \neq 0$ ,  $\lambda_1 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = 0$ . Тогда:

а) если  $D_2(\lambda_2) = 0$ , то одноодная система (1) имеет решение вида

$$\begin{pmatrix} f_0 \\ f_1(x) \\ f_2(x,y) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ ca_2(x) \\ -ca_2(x) \end{pmatrix}.$$

б) если  $D_1(\lambda_1) \neq 0$ , то система имеет только нулевое решение.

Аналогичные результаты как в теореме (2) получено и в случаях:

- 1)  $\lambda_3 \neq 0$ ,  $\lambda_i = 0$ ,  $i = 1, 2, 4, 5$ ;
- 2)  $\lambda_4 \neq 0$ ,  $\lambda_i = 0$ ,  $i = 1, 2, 3, 5$ ;
- 3)  $\lambda_5 \neq 0$ ,  $\lambda_i = 0$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ .

**Теорема 3.** Пусть  $\lambda_1 \neq 0$ ,  $\lambda_2 \neq 0$ ,  $\lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = 0$  и тогда:

а) если  $D_1(\lambda_1) \neq 0$ , то

1) при  $\int a_1(t)a_2(t)dt = 0$  имеет решение вида  $f_0 = 0$ ,  $f_1(x) = -\lambda_2 ca_2(x)$ ,  $f_2(x,y) = \lambda_2 ca_2(x)$ , где  $c$  – произвольная постоянная;

2) при  $\int a_1(t)a_2(t)dt \neq 0$  однородная система (1) имеет решение вида

$$f_0 = A(a_1, a_2), f_1(x) = -c_1 - \lambda_2 c_2 a_2(x), f_2(x,y) = c_1 + \lambda_2 c_2 a_2(x),$$

где  $A(a_1, a_2) = \frac{c\lambda_1\lambda_2 \int a_1(t)a_2(t)dt}{D_1(\lambda_1)} = c' \cdot c_1, c_2, c'$  постоянные.

б) если  $D_1(\lambda_1) = 0$ , то

1) при  $\int a_1(t)a_2(t)dt = 0$  система (1) имеет решение вида

$$f_0 = c_1, f_1(x) = -c_1 - \lambda_2 c_2 a_2(x), f_2(x,y) = c_1 + \lambda_2 c_2 a_2(x),$$

где  $c_1, c_2$  - константы;

2) при  $\int a_1(t)a_2(t)dt \neq 0$  однородная система (1) имеет решение вида

$$f_0 = c_2, f_1(x) = -c_2 - ca_2(x), f_2(x,y) = c_2 + ca_2(x),$$

где  $c$  - постоянная.

Отметим, что в случаях, когда двое из параметров отличны от

нуля, а остальные равны нулю, имеют аналогичные теоремы.

$$\text{Теперь пусть } D(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = 1 - \int \left[ \sum_{k=1}^3 \lambda_k a_k^2(t) \right] dt$$

детерминант Фредгольма ядро  $(x, t) = \sum_{k=1}^3 \lambda_k a_k(x) a_k(t)$ .

**Теорема 4.** Пусть  $\lambda_1 \neq 0, \lambda_2 \neq 0, \lambda_3 \neq 0, \lambda_4 = \lambda_5 = 0$ . Тогда:

а) если  $D(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \neq 0$ , то система (1) имеет решение вида

$$f_0 = \lambda \sum_{k=1}^3 c_k \lambda_k^2 \int a_k^2(t) dt = c, f_1(x) = \sum_{i=1}^3 \lambda_i c_i a_i(x), f_2(x, y) = - \sum_{i=1}^3 \lambda_i c_i a_i(x);$$

б) если  $D(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = 0$ , то система (1) имеет только нулевое решение.

Аналогичные теоремы можно сформулировать и при остальных случаях, когда трое из параметров отличны от нуля и остальные равны нулю.

**Теорема 5.** Пусть  $\lambda_i \neq 0, i = \overline{1,4}, \lambda_5 = 0$  и  $D_4(\lambda_4) = 1 + \lambda_4 \int a_4^2(t) dt \neq 0$ .

Тогда:

а) если  $D(\lambda'_1, \lambda'_2, \lambda'_3) = 1 + \sum_{j=1}^3 \lambda_j^2 \int a_j^2(t) dt = 0$ , то система (1) имеет решение вида

$$f_0 = c_2, f_1(x) = A_1(x), f_2(x, y) = B_1(x),$$

где

$$c = -\lambda_1 \sum_{i=1}^3 \lambda'_i c_i \int a_i(t) a'_i(t) dt, A_1(x) = \sum_{j=1}^3 \lambda'_j \hat{a}_j(x) c_j,$$

$$B_1(x) = \frac{\lambda_4 a_4(x)}{D_4(\lambda_4)} \sum_{i=1}^3 \lambda'_i c_i \int a_4(t) \hat{a}_i(t) dt;$$

б) если  $D(\lambda'_1, \lambda'_2, \lambda'_3) \neq 0$ , то система (1) имеет только нулевое решение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов, В. И. Курс высшей математики / В. И. Смирнов - М.: Наука, 1974. - Т. 4, ч. 1.

2. Рид, М. Методы современной математической физики. 1 Функциональный анализ / М. Рид, Б. М. Саймон. - Мир. - 1977. - 357с.

3. Хайруллаев, И. Н. Спектр и резольвента гамильтониана одной системы с несохраняющимся ограниченным числом частиц / И. Н. Хайруллаев // Узбекский математический журнал. 1999. №6. С.70-78.

УДК: 372.72

Г. К. Худайберганов, преп.  
(Ургенчский Государственный университет, Узбекистан);

Н. Н. Холмирзаев, преп.  
(Денауский филиал Термезского Государственного университета, Узбекистан)

## **КАЧЕСТВЕННАЯ ПОДГОТОВКА УЧИТЕЛЯ МАТЕМАТИКИ В ВУЗЕ**

Качества подготовки учителя математики требует учета достижений в подготовке учителя математики и наличия методики диагностирования.

На основе реализации этого положения можно сконструировать трехуровневая модель качества подготовки учителя математики, включающая в себя модель абитуриента, модель бакалавра и модель магистра. Модель абитуриента характеризуется следующими требованиями к математической подготовке:

- 1) знание теорий содержательных линий школьного курса математики;
- 2) умение применять методологические знания для овладения математикой;
- 3) умение раскрывать содержание основных понятий из школьного курса математики по обобщенному плану;
- 4) знание понятий основных содержательных линий школьного курса математики (числовой, функциональной, геометрической);
- 5) знание роли математики в познании окружающего мира;
- 6) знание математических методов (аксиоматических, координатных, геометрических преобразований и т. д.);
- 7) умение использовать методы познания;
- 8) умение пользоваться различными методами (способами) решения задач и находить оптимальное решение;
- 9) знание элементов истории развития математики;
- 10) умение применять теоретические знания в решении задач.

Показателями оценки качества математической подготовки учителя математики являются:

- 1) знание теорий содержательных линий математических курсов педВУЗа;
- 2) умение применять методологические знания для анализа содержательных линий математических курсов;
- 3) умение раскрывать содержание теорий содержательных линий математических курсов ВУЗа по обобщенному плану;
- 4) знание основных понятий математических курсов ВУЗа;

- 5) понимание роли математики в познании окружающего мира;
- 6) знание математических методов;
- 7) знание основных методов теории познания и умение применять их в математических рассуждениях;
- 8) владение различными методами решения математических задач;
- 9) знание методологии и истории развития теорий содержательных линий математических курсов ВУЗа;
- 10) умение применять теоретические знания при решении математических задач.

Показателями оценки качества подготовки учителя математики по методическому аспекту являются:

- 1) знание теорий содержательных линий школьного курса математики;
- 2) знание основных методических подходов к изложению основных содержательных линий школьного курса математики;
- 3) умение раскрывать содержание основных разделов школьного курса математики по обобщенному плану;
- 4) знание основных понятий школьного курса математики;
- 5) владение технологиями раскрытия роли математики в познании окружающего мира в процессе преподавания математики;
- 6) владение технологиями обучения математическим методам;
- 7) умение применять методы теории познания в обучении математике;
- 8) владение различными методами решения задач по школьному курсу математики;
- 9) знание методологии и истории развития содержательных линий школьного курса математики;
- 10) умение применять теоретические знания в решении задач школьного курса математики.

Структура модели учителя-исследователя включает мотивационный, методологический и рефлексивный блоки.

Мотивационная составляющая (мотивационный блок) характеризует внутреннюю потребность к педагогическим исследованиям, понимание того, что исследовательская деятельность есть средство достижения высоких педагогических результатов; осознание необходимости самообразования, приобретения знаний, умений и опыта в проектировании и конструировании научно-исследовательского, педагогического процесса; готовность поддерживать работоспособность и желание заниматься наукой; степень удовлетворенности результатами своей научно-исследовательской деятельности.

Методологическая компонента (методологический блок) характеризует наличие у учителя готовности к исследовательской деятельности в своей предметной области. Сюда входят: умение увидеть проблему и соотнести с ней предметный материал, умение сформулировать конкретную исследовательскую педагогическую задачу; умение разработать научный аппарат исследования; умение выдвигать гипотезу, определять объект и предмет исследования, конкретные задачи, направленные на проверку гипотезы; умение планировать и организовывать педагогический эксперимент; целостное представление о методологии конкретной науки (области научных знаний); готовность к преподаванию конкретного предмета на методологическом уровне (перечень компетентностей определяется спецификой предмета).

Рефлексивная составляющая (рефлексивный блок) включает в себя готовность видеть альтернативу в решении исследовательских задач; умение обрабатывать и оценивать результаты научно-исследовательской работы; умение обобщать и делать выводы по результатам научно-исследовательской работы; умение корректировать образовательный процесс в соответствии с результатами научно-исследовательской работы.

Исходные методологические позиции при разработке показателей оценки качества подготовки учителя математики обеспечивались государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования, требованиями квалификационной характеристики учителя высшей категории и принципом ориентации на развитие методологической культуры учителя математики.

На основе выявленных показателей нами подготовлены диагностические материалы по оценке качества подготовки учителя математики к профессиональной деятельности на различных этапах подготовки.

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ  
ПОЛИНОМА ЧЕТВЕРТОЙ СТЕПЕНИ ЧЕРЕЗ  
КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОЛИНОМА ШЕСТОЙ СТЕПЕНИ ПРИ  
НАЛИЧИИ ЛИНЕЙНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ КОРНЯМИ ДАННЫХ  
ПОЛИНОМОВ**

В работе установлены необходимые и достаточные условия, связывающие коэффициенты полинома комплексного аргумента шестой степени вида (1)

$$P(z) = z^6 + c_1 z^5 + c_2 z^4 + c_3 z^3 + c_4 z^2 + c_5 z + c_6 \quad (5)$$

с коэффициентами полинома четвертой степени вида (2)

$$Q_4(z) = z^4 + a_1 z^3 + a_2 z^2 + a_3 z + a_4 \quad (6)$$

при наличии линейной связи между корнями этих полиномов.

Обозначим корни полинома (2) через  $p_1, p_2, p_3, p_4$  и, кроме того, обозначим попарно их суммы

$$\begin{aligned} q_1 &= p_1 + p_2, & q_2 &= p_1 + p_3, & q_3 &= p_1 + p_4, \\ q_4 &= p_2 + p_3, & q_5 &= p_2 + p_4, & q_6 &= p_3 + p_4. \end{aligned}$$

**Теорема.** Числа  $q_j$  ( $j = 1, 2, \dots, 6$ ) являются корнями полинома (1), тогда и только тогда, когда разрешима относительно  $a_k$  ( $k = 1, 2, 3, 4$ ) система уравнений

$$c_1 = 3a_1, \quad (7)$$

$$3a_1^2 + 2a_2 - c_2 = 0, \quad (8)$$

$$a_1^3 + 4a_1 a_2 - c_3 = 0, \quad (9)$$

$$2a_1^2 a_2 + a_1 a_3 + a_2^2 - 4a_4 - c_4 = 0, \quad (10)$$

$$a_1(a_1 a_3 + a_2^2 - 4a_4) - c_5 = 0, \quad (11)$$

$$a_1 a_2 a_3 - a_1^2 a_4 - a_3^2 - c_6 = 0. \quad (12)$$

В свою очередь, необходимым и достаточным условием однозначной разрешимости системы уравнений (3)–(8) относительно  $a_k$  ( $k = 1, 2, 3, 4$ ) являются соотношения

$$c_3 = \frac{2}{3}c_1c_2 - \frac{5}{27}c_1^3, \quad (13)$$

$$c_5 = \frac{1}{81}c_1^5 - \frac{1}{27}c_1^3c_2 + \frac{1}{3}c_1c_4. \quad (14)$$

При этом,

$$a_1 = \frac{c_1}{3}, \quad a_2 = -\frac{1}{6}c_1^2 + \frac{1}{2}c_2,$$

$$a_3 = -\frac{7}{216}c_1^3 + \frac{1}{12}c_1c_2, \quad a_4 = -\frac{13}{2592}c_1^4 - \frac{1}{144}c_1^2c_2 + \frac{1}{16}c_2^2 - \frac{1}{4}c_4.$$

*Доказательство. Необходимость.* Пусть числа  $q_j$  ( $j = 1, 2, \dots, 6$ ) являются корнями полинома (1), тогда коэффициенты данного полинома будут иметь вид

$$c_1 = -3(p_1 + p_2 + p_3 + p_4);$$

$$c_2 = 3(p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + p_4^2) + 8(p_1p_2 + p_1p_3 + p_1p_4 + p_2p_3 + p_2p_4 + p_3p_4);$$

$$c_3 = -(p_1 + p_2 + p_3 + p_4)(6(p_1p_2 + p_1p_3 + p_1p_4 + p_2p_3 + p_2p_4 + p_3p_4) + (p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + p_4^2));$$

$$c_4 = 30p_1p_2p_3p_4 + \left[ 2(p_1^3p_2 + p_1^3p_3 + p_1^3p_4 + p_1p_2^3 + p_1p_3^3 + p_1p_4^3 + p_2^3p_3 + p_2^3p_4 + p_2p_3^3 + p_2p_4^3 + p_3^3p_4 + p_3p_4^3) + 13(p_1^2p_2p_3 + p_1^2p_2p_4 + p_1^2p_3p_4 + p_1p_2^2p_3 + p_1p_2^2p_4 + p_1p_2p_3^2 + p_1p_2p_4^2 + p_1p_3^2p_4 + p_1p_3p_4^2 + p_2^2p_3p_4 + p_2p_3^2p_4 + p_2p_3p_4^2) + 5(p_1^2p_3^2 + p_1^2p_4^2 + p_2^2p_3^2 + p_1^2p_2^2 + p_2^2p_4^2 + p_3^2p_4^2) \right];$$

$$c_5 = -(p_1 + p_2 + p_3 + p_4) \left[ (6p_1p_2p_3p_4 + (p_1^2p_2^2 + p_1^2p_3^2 + p_1^2p_4^2 + p_2^2p_3^2 + p_2^2p_4^2 + p_3^2p_4^2)) + 3(p_1^2p_2p_3 + p_1^2p_2p_4 + p_1^2p_3p_4 + p_1p_2^2p_3 + p_1p_2^2p_4 + p_1p_2p_3^2 + p_1p_2p_4^2 + p_1p_3^2p_4 + p_1p_3p_4^2 + p_2^2p_3p_4 + p_2p_3^2p_4 + p_2p_3p_4^2) \right];$$

$$c_6 = (p_1^3p_2^2p_3 + p_1^3p_2^2p_4 + p_1^3p_2p_3^2 + p_1^3p_2p_4^2 + p_1^3p_3^2p_4 + p_1^3p_3p_4^2 + p_1^2p_2^3p_3 + p_1^2p_2^3p_4 + p_1^2p_3^3p_4 + p_1^2p_2p_3^3 + p_1^2p_2p_4^3 + p_1^2p_3^3p_4 + p_1p_2^3p_3^2 + p_1p_2^3p_4^2 +$$

$$\begin{aligned}
& + p_1 p_2^2 p_3^3 + p_1 p_2^2 p_4^3 + p_2^2 p_3 p_4^3 + p_2 p_3^3 p_4^2 + p_2 p_3^2 p_4^3 + p_1 p_3^3 p_4^2 + p_1 p_3^2 p_4^3 + \\
& + p_2^3 p_3^2 p_4 + p_2^3 p_3 p_4^2 + p_2^2 p_3^3 p_4 + \left[ 2 \left( p_1^2 p_2^2 p_3^2 + p_1^2 p_2^2 p_4^2 + p_1^2 p_3^2 p_4^2 + \right. \right. \\
& \left. \left. + p_2^2 p_3^2 p_4^2 \right) + 2 \left( p_1 p_2^3 p_3 p_4 + p_1^3 p_2 p_3 p_4 + p_1 p_2 p_3^3 p_4 + p_1 p_2 p_3 p_4^3 \right) + \right. \\
& \left. + 4 \left( p_1 p_2^2 p_3^2 p_4 + p_1 p_2^2 p_3 p_4^2 + p_1 p_2 p_3^2 p_4^2 + p_1^2 p_2^2 p_3 p_4 + p_1^2 p_2 p_3^2 p_4 + p_1^2 p_2 p_3 p_4^2 \right) \right].
\end{aligned}$$

Равенства (3), (4) и (5) получаются непосредственно из соотношений Виета для полинома четвертой степени.

Суммы, стоящие в круглых скобках в выражениях  $c_4$ ,  $c_5$ ,  $c_6$ , представляют собой симметричные полиномы от переменных  $p_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) и, согласно известной теореме ([1], с. 322) о возможности их представления через элементарные симметрические полиномы, могут быть выражены через коэффициенты полинома (2). Прделав соответствующие преобразования, получаем оставшиеся уравнения системы (6)–(8).

Осуществляя несложные преобразования над уравнениями системы (3)–(8), получаем уравнения (9) и (10) как критерии разрешимости рассматриваемой системы относительно  $a_k$  ( $k = 1, 2, 3, 4$ ), а также однозначные выражения коэффициентов полинома (2) через коэффициенты полинома (1).

Достаточность. Пусть выполнены равенства (9) и (10) и коэффициенты уравнения (1) выражаются через  $a_k$  ( $k = 1, 2, 3, 4$ ) в соответствии с системой (3)–(8). Полагая

$$\begin{aligned}
a_1 &= -(p_1 + p_2 + p_3 + p_4), \quad a_2 = p_1 p_2 + p_1 p_3 + p_1 p_4 + p_2 p_3 + p_2 p_4 + p_3 p_4, \\
a_3 &= -(p_1 p_2 p_3 + p_1 p_2 p_4 + p_1 p_3 p_4 + p_2 p_3 p_4), \quad a_4 = p_1 p_2 p_3 p_4,
\end{aligned}$$

получаем, что коэффициенты полинома (1) выражаются следующим образом:

$$c_1 = -(q_1 + q_2 + \dots + q_6), \quad c_2 = q_1 q_2 + q_1 q_3 + \dots + q_5 q_6, \quad \dots \quad c_6 = q_1 q_2 q_3 q_4 q_5 q_6,$$

т. е. в силу теоремы Виета числа  $q_1, q_2, \dots, q_6$  являются его корнями.

Теорема доказана.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Курош, А. Г. Курс высшей алгебры: учебник. 17-е изд., стер. / А. Г. Курош. – СПб.: Лань, 2008. – 432 с.



UDC: 681.586

N. I. Shtefan, Doctor of philosophy, Associate Professor;  
S.I. Virych, student (National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" Kyiv, Ukraine)

## **TRANSIENT MODES OF CYLINDER PIEZOELECTRIC TRANSFORMER UNDER ELECTRIC IMPULSE EXCITATION**

Structural elements, with electroelastic properties, find wide application as piezoceramic transducers, functioning, respectively, in the mode of direct or the converse piezoelectric effect. This explains the interest in research concerning the field of electroelasticity. Most of them have been carried out on the assumption, that the dynamic process is periodic in time. Formulated in an unsteady setting, tasks are used to be of immediate interest [1-3]. This is due to enhancement of *piezoelectric transducers* of energy during transient modes, for example, when excited by electric pulses.

In the presented work on-steady state electroelastic problem for thin-walled piezoceramic bodies with segmented electrodes (cylinder piezoelectric transformer) is formulated and solved.

The mathematical formulation of the problem is carried out with the help of the linear theory thin electroelastic shells with mixed electrical boundary conditions (current and voltage). In solving the problem, the Laplace integral transform in time, the expansion of the sought-for quantities in terms of their own forms of shell vibrations, and the satisfaction of the boundary conditions in the spare of the real variable (originals) are involved. This allows us to reduce the problem to an infinite system of Volterra integral equations of the first kind, succeeded by their numerical solution using the mean value theorem. Quadrature formulas that make it possible to carry out calculations with controlled accuracy for excitatory electric impulses of almost any configuration and duration are given.

### **REFERENCES**

1. Савин, В. Г. Прямая и обратная задача излучения акустических импульсов цилиндрическим пьезокерамическим преобразователем / В. Г. Савин, Ж. В. Сотула, Н. И. Штефан // Научно-технический сборник «Механика гироскопических систем». - 2012, № 25. - С. 94-102.

2. Савин, В. Г. Нестационарное поведение цилиндрического секционированного пьезопреобразователя при электрическом импульсном возбуждении / В. Г. Савин, В. М. Шарапов, Н. И. Штефан // Научно-технический сборник «Информационные системы, механика и управление». - 2011, № 7. - С.72-81.

3. Савин, В. Г. Возбуждение акустическими импульсами экранированных сферических пьезокерамических оболочек / В. Г. Савин,

Ж. В. Сотула, Н. И. Штефан // Труды МНТК «Гиротехнологии, навигация, управление, движение и конструирование авиац.-космич. техники». - Киев, НТУУ «КПИ», 2013. - С.303-309.

УДК 531.19

Р. Н. Ласовский, доц., канд. физ.-мат. наук (БГТУ, г. Минск);  
Т. Н. Пацаган, канд. физ.-мат. наук (ИФКС НАНУ, г. Львов)

### **МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА СО СЛЯБ ГЕОМЕТРИЕЙ**

Твердые электролиты являются предметом интенсивной научной деятельности ввиду широких перспектив их промышленного применения. На их основе, например, изготавливаются аккумуляторные батареи [1], топливные элементы [2], суперконденсаторы, напоминающие устройства и т. д. Во многих случаях твердые электролиты представляют собой керамику или поликристаллиты, что требует разработки специфических методов их получения и экспериментальных исследований. Для описания таких систем широко используются решеточные модели [3].

Рассмотрена трехмерная модель твердотельного электролита со сляб геометрией, содержащей зерно и межзеренную прослойку, описываемую слоями, характеризующимися дополнительными межузловыми энергетическими барьерами.

Взаимодействие между подвижными ионами принималось состоящим из дальнодействующего электростатического отталкивания и короткодействующего притяжения. Система находится между двумя противоположно заряженными электродами.

Выполнено моделирование описанной системы по методу Монте-Карло. При этом кулоновская энергия определяется суммированием по методу Эвальда с добавлением дополнительных “вакуумных областей” с обеих сторон сляба. Исследован профиль концентрации подвижных ионов при различных условиях.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. High-Energy All-Solid-State Lithium Batteries with Ultralong Cycle Life / X. Yao [et al.] // *Nano Lett.* 2016. Vol. 16, no. 11. P. 7148–7154.
2. Solid Oxide Fuel Cells: Materials Properties and Performance / J. Zhang [et al.] // CRC Press, 2016. 298 p.
3. Bokun G. S., Groda Y. G., Lasovsky R. N., Vikhrenko V. S. Unusual properties of a model of an intergrain boundary in solid oxide ceramic electrolytes // *Solid State Ionics.* 2017, vol. 302, P. 25–29.

И. В. Вершиловская, кан. биол. наук, ассист.,  
Н. Н. Крук, док. физ.-мат. наук, зав. кафедрой  
(БГТУ, г. Минск);

Л. А. Люлькович, инженер-технолог  
(РУП «Белмедпрепараты», г. Минск)

**ВЛИЯНИЕ ГЕТЕРОЗАМЕЩЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ  
СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ 21-ТИА-  
И 21,23-ДИТИА-5,10,15,20-ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИНА  
В РАСТВОРАХ**

Гетеропорфирины - это соединения порфиринового ряда, в которых одно или несколько пиррольных колец заменены на пятичленные циклические фрагменты, содержащие другие гетероатомы, например, S или O. Они содержат 26  $\pi$ -электронов в сопряженной макроциклической системе, удовлетворяющих правилу ароматичности Хюккеля ( $4n+2$ ), и их спектрально-люминесцентные свойства в целом сохраняют преемственность по отношению к порфиринам [1]. Впервые гетеропорфирины были синтезированы более 50 лет назад и с тех пор в вопросах их синтеза, формирования ковалентно и нековалентно связанных мультимолекулярных ансамблей на основе гетеропорфиринов, хелатирования гетеропорфиринами ионов металлов достигнут значительный прогресс и опубликовано большое число научных работ [1]. Вместе с тем, ряд фундаментальных вопросов, касающихся электронной структуры, кислотно-основных свойств в основном и возбужденных состояниях, формирования каналов дезактивации энергии электронного возбуждения в гетеропорфиринах к настоящему времени являются малоисследованными. В данной работе изучены спектрально-люминесцентные характеристики 21-тиа-5,10,15,20-тетрафенилпорфирина ( $SN_3$ -ТФП) и 21,23-дитиа-5,10,15,20-тетрафенилпорфирина ( $S_2N_2$ -ТФП) в дихлорметане с использованием методов абсорбционной и люминесцентной спектроскопии. Электронные спектры поглощения и спектры флуоресценции растворов исследуемых порфиринов регистрировали на спектрофлуорометре СМ2203 (ЗАО «Солар», Беларусь). Квантовый выход флуоресценции измеряли относительным способом [2]. В качестве эталонного соединения использовали свободное основание 5,10,15,20-тетрафенилпорфирина ( $N_4$ -ТФП), для которого величина квантового выхода флуоресценции  $\Phi_{фл} = 0,09$  [2].

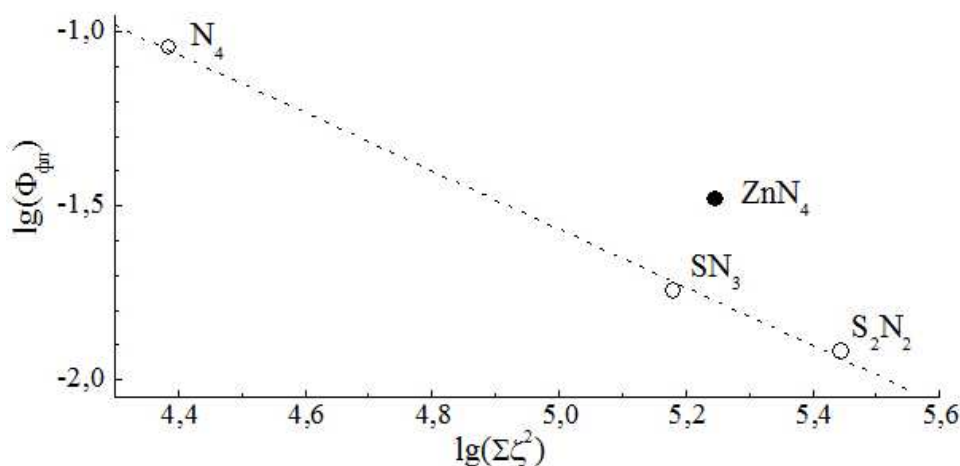
Анализ электронных спектров поглощения исследуемых соединений показал значительный батохромный сдвиг длинноволновой

$Q_x(0,0)$  полосы поглощения на  $700 \text{ см}^{-1}$  и  $1112 \text{ см}^{-1}$  для тиа- и дитиа-замещенных порфиринов соответственно по сравнению с  $N_4$ -ТФП. Несколько меньшие батохромные сдвиги величиной  $586$  и  $908 \text{ см}^{-1}$  испытывает полоса  $Sore$ . В то же время для  $Q_y(0,0)$  полосы наблюдается небольшой гипсохромный сдвиг. Кроме сдвигов полос следует отметить изменения относительных интенсивностей полос поглощения. Рассмотрение полученных качественных и количественных спектральных изменений с точки зрения четырехорбитальной модели Гутермана [3] позволило объяснить их не только существенными различиями в положении молекулярных орбиталей у гетеропорфиринов по сравнению с порфирином (различным конфигурационным составом электронных переходов), но и разным характером конфигурационного взаимодействия.

Спектры флуоресценции гетерозамещенных порфиринов показали длинноволновый сдвиг положения полос, а также прогрессивное увеличение стоксова сдвига, которое можно объяснить большей стабилизацией возбужденного  $S_1$ -состояния по сравнению с основным.

В литературе отмечено усиление тушения флуоресценции в гетеропорфиринах по сравнению с порфиринами с такой же архитектурой периферического замещения [1]. Гетероатомы таких порфиринов существенно различаются по величине константы спин-орбитальной связи  $\zeta$  [4]. Поскольку как в порфиринах, так и в гетеропорфиринах доминирующим каналом внутримолекулярной дезактивации энергии электронного возбуждения является интеркомбинационная  $S_1 \rightarrow T_1$ , конверсия, то увеличение ее константы скорости при усилении спин-орбитального взаимодействия приведет к тушению флуоресценции. Таким образом, в исследуемых соединениях в величину квантового выхода флуоресценции  $\Phi_{фл}$  основной вклад вносит константа скорости интеркомбинационной конверсии  $k_{S_1T_1}$  и именно она зависит от величины спин-орбитального взаимодействия. На рисунке представлена зависимость квантового выхода флуоресценции исследуемых соединений от суммы квадратов констант спин-орбитальной связи  $\Sigma \zeta^2$  в двойных логарифмических координатах. Анализ полученной зависимости показывает, что тушение флуоресценции при переходе от  $N_4$ -ТФП к  $SN_3$ -ТФП и далее к  $S_2N_2$ -ТФП действительно объясняется усилением спин-орбитального взаимодействия в макроцикле. В выбранной системе координат точка для металлокомплекса  $Zn$ -ТФП, в котором спин-орбитальное возмущение в ядре макроцикла создается четырьмя гетероатомами азота и ионом цинка, т.е.  $ZnN_4$ , располагается выше полученной нами зависимости для гетеропорфиринов, у кото-

рых спин-орбитальное возмущение создается атомом серы, который находится в составе  $\pi$ -сопряженной макрогетероциклической системы. Таким образом, можно предположить, что если источник спин-орбитального возмущения находится в составе  $\pi$ -сопряженной системы макроцикла, то эффективность спин-орбитальных взаимодействий резко возрастает.



**Рисунок** Зависимость квантового выхода флуоресценции  $\Phi_{\text{фл}}$  исследуемых соединений от  $\Sigma \zeta^2$  в двойных логарифмических координатах

В работе впервые установлено, что тушение флуоресценции гетеропорфиринов обусловлено эффектом внутреннего тяжелого атома, в качестве которого выступает гетероатом тиофенового кольца.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Heteroatom-containing porphyrin analogues / T. Chatterjee [et al.] // *Chem. Rev.* – 2016. – Vol. 117. – P. 3254–3328.
2. Spectral-luminescent properties of meso-tetraarylporphyrins revisited: The role of aryl type, substitution pattern and macrocycle core protonation / I. V. Vershilovskaya [et al.] // *Macroheterocycles.* – 2017. – Vol. 10. – P. 257–267.
3. Gouterman M. Optical spectra and electronic structure of porphyrins and related rings / M. Gouterman // *The Porphyrins* / Ed. By D. Dolphin. – New York, 1978. – Vol. 3. – P. 1–165.
4. Murov, S. L. Handbook of photochemistry / S. L. Murov, I. Carmichael, G. L. Hug // 2-nd ed. New-York: Marcel Dekker. – 1993. – 420 p.

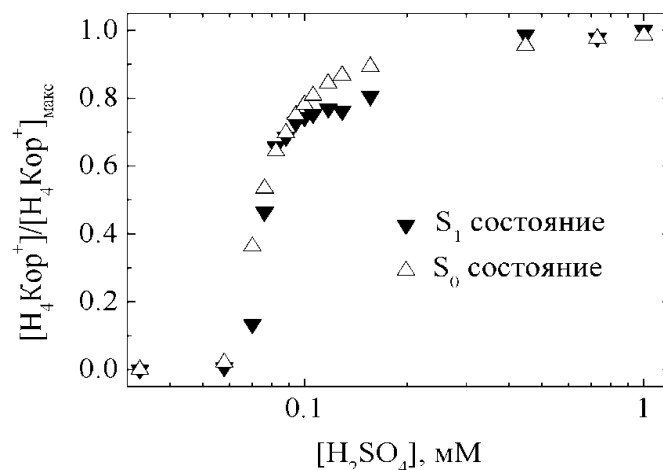
УДК 535.37+541.65+543.4

Д. В. Клеицкий, канд. физ.-мат. наук, доц.;  
Н. Н. Крук, д-р физ.-мат. наук, зав. каф. физики (БГТУ, г. Минск);  
Г. А. Гладкова, канд. техн. наук, доц.  
(УО «Военная академия Республики Беларусь», г. Минск);  
В. Маес, проф. (Университет Хассельта, г. Хассельт, Бельгия)

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ МОЛЕКУЛЯРНОЙ КОНФОРМАЦИИ И ОСНОВНОСТИ МАКРОЦИКЛА СВОБОДНЫХ ОСНОВАНИЙ КОРРОЛОВ В ОСНОВНОМ И НИЖНИХ ВОЗБУЖДЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СОСТОЯНИЯХ**

Основность свободных оснований корролов проявляется в протонировании атома азота (присоединении к нему протона) пирроленинового кольца при взаимодействии с кислотами. Нами исследована основность молекулы 10-(4,6-дихлорпиримидин-5-ил)-5,15-димезитилкоррола в этаноле при титровании раствора серной кислотой.

Увеличение концентрации кислоты в растворе приводит к уменьшению интенсивности полос с максимумами при 606 и 644,5 нм в спектре флуоресценции. Данные полосы относятся к флуоресценции, испускаемой соответственно таутомерами Т2 и Т1, отличающиеся расположением протонов в ядре тетрапиррольного макроцикла. Одновременно, в спектре появляется широкая полоса флуоресценции с максимумом при 675 нм, обусловленная появлением монопротонированных молекул коррола. Анализ изменения интенсивности флуоресценции при 644,5 нм и 606 нм позволил сделать вывод о том, что протонирование таутомера Т1 происходит быстрее, чем в случае таутомера Т2, т. е. в нижнем возбужденном синглетном  $S_1$  состоянии основность таутомера Т1 больше основности таутомера Т2. При малых концентрациях кислоты, когда протонируется Т1 таутомер, относительные концентрации монопротонированного коррола в  $S_0$  и  $S_1$  состояниях практически совпадают (рисунок 1). Это указывает на то, что соответствующее значение основности таутомера Т1 остается неизменным при заселении  $S_1$  состояния. При более высоких концентрациях кислоты, когда протонируется таутомер Т2, образование монопротонированных молекул в основном синглетном  $S_0$  состоянии происходит быстрее, чем в возбужденном синглетном  $S_1$  состоянии. Следовательно, таутомер Т2 в  $S_0$  состоянии является более основным по сравнению с  $S_1$  состоянием.



**Рисунок 1 - Зависимость доли протонированных молекул коррола в основном  $S_0$  и нижнем возбужденном  $S_1$  синглетных состояниях от концентрации кислоты в растворе**

Различную основность двух NH-таутомеров коррола можно объяснить особенностями их молекулярной конформации [1]. Используя квантово-химическую программу PRIRODA [2], была выполнена оптимизация молекулярной геометрии основного синглетного  $S_0$  состояния двух NH-таутомеров и изучено влияние неплоскостных искажений макроцикла корролов на основность макроцикла. Рассчитанный угол наклона пирроленинового кольца к плоскости макроцикла в T1 таутомере равен,  $6,7^\circ$ , а для T2 таутомера  $3,9^\circ$ . Это делает атом азота пирроленинового кольца таутомера T1 более доступным для межмолекулярных взаимодействий, что является причиной увеличения его основности. Одно и то же значение основности T1 таутомера в основном и нижнем возбужденном синглетных состояниях, которое следует из эксперимента по титрованию флуоресценции, свидетельствует о незначительных изменениях конформации макроцикла, по крайней мере, в макрообразующем квадранте, содержащем пирролениновое кольцо. Отсутствие больших конформационных изменений в возбужденном синглетном  $S_1$  состоянии для обоих NH-таутомеров корролов подтверждается небольшим значением сдвига Стокса. Для таутомера T2 основность в возбужденном синглетном  $S_1$  состоянии уменьшается по сравнению с основностью в основном состоянии, что согласуется с меньшим значением угла наклона пирроленинового кольца.

Учитывая важную роль долгоживущих триплетных состояний в работе также изучена основность молекулы в возбужденном нижнем триплетном  $T_1$  состоянии. Спектроскопические методы исследования по ряду причин не подходят для кислотно-основных измерений в триплетном состоянии. Поэтому мы использовали связь между молеку-

лярной конформацией и основностью макроцикла корролов подтвержденной для синглетных состояний. Анализ молекулярных конформации двух таутомеров свободных оснований корролов в  $T_1$  состоянии однозначно указывает на увеличение степени неплоских искажений макроциклов. Угол наклона пирроленинового кольца в таутомере T2, равный  $4^\circ$ , остается практически таким же, как и угол в основном синглетном состоянии. Соседнее с ним кольцо лежит почти в средней плоскости макроцикла, увеличивая тем самым защиту пирроленинового кольца от доступа из растворителя, а угол наклона других пиррольных колец увеличивается, делая пирролениновое кольцо более доступным для взаимодействия. Принимая во внимание умеренное увеличение общей степени неплоских искажений, можно ожидать очень небольшого увеличения основности, если оно будет вообще. У таутомера T1 угол наклона пирроленинового кольца к плоскости макроцикла уменьшается по сравнению с основным состоянием до  $4,5^\circ$ , однако одновременно значительно увеличивается угол наклона других пиррольных колец, что приводит к общему увеличению степени неплоских искажений. В результате можно ожидать небольшое увеличение основности из-за снижения степени экранирования места протонирования в таком искаженном макроцикле.

Заметим, что замещение макроцикла коррола по мезоположениям приводит к увеличению как общей степени неплоских искажений макроцикла в основном  $S_0$  и нижнем возбужденном  $T_1$  состояниях, так и к увеличению наклона пиррольного кольца, подлежащего протонированию, по отношению к средней плоскости макроцикла, тем самым, обеспечивая условия для увеличения основности макроцикла. Требуется проведение дополнительных исследований, направленных на количественную оценку обсуждаемых в работе связей между структурой и наблюдаемыми свойствами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Corrole NH Tautomers: Spectral Features and Individual Protonation / Yu. B. Ivanova [et al.] // J. Phys. Chem., A. – 2012. – Vol. 116, № 44. – P. 10683-10694.
2. Laikov, D. N. Fast evaluation of density functional exchange-correlation terms using the expansion of the electron density in auxiliary basis sets / D. N. Laikov // Chem. Phys. Lett. – 1997. – Vol. 281, № 1–3. – P. 151–156.



УДК 535.37+541.65+543.4

Н. Н. Крук, д-р. физ.- мат. наук, зав. кафедрой;

Д. В. Кленицкий, канд. физ.-мат. наук, доц.  
(БГТУ, г. Минск);

В. Маес, проф.

(Университет Хассельта, Бельгия)

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ И ОСНОВНОСТИ АЛКИЛИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ СВОБОДНОГО ОСНОВАНИЯ КОРРОЛА**

Известно, что тетрапиррольные соединения проявляют как основные, так и кислотные свойства, которые проявляются в присоединении либо диссоциации протона(ов) в соответствующих условиях. Основные свойства исследовались для большого количества производных порфиринов, различающихся по архитектуре периферического замещения. Было установлено [1], что протонирование сопровождается значительными неплоскостными искажениями тетрапиррольного макроцикла, результатом которых является экспонирование протонов пиррольных колец и неподеленной электронной пары атомов азота пирролениновых колец в растворитель. Такие структурные изменения приводят к значительному росту основности и кислотности макроцикла благодаря благоприятным условиям для межмолекулярных взаимодействий.

В макроцикле корролов отсутствует один из атомов углерода в *мезо*-положении макроцикла и два соседних пиррольных фрагмента соединены  $C_aC_a$  связью [2]. Сокращение размеров ядра макроцикла корролов и наличие дополнительного протона в ядре способствует тому, что, даже при отсутствии стерических взаимодействий периферических заместителей, формируется непланарная конформация тетрапиррольного макроцикла, которая будет определяться архитектурой замещения и типом периферических заместителей. Асимметричный характер макроцикла корролов приводит к тому, что углы наклона относительно средней плоскости макроцикла будут различными для всех пиррольных фрагментов, и, следовательно, основность всех пиррольных колец будет различной [3].

В настоящей работе квантово-химическими методами рассчитаны молекулярные конформации длинноволновых NH-таутомеров 18 метилированных производных свободного основания коррола и выявлены локальные характеристики молекулярной конформации, которые определяют основность макроцикла. Проведен анализ данных характеристик для исследуемых соединений и определена архи-

текстура периферического замещения макроцикла, необходимая для наибольшей и наименьшей основности макроцикла. Исследуемые соединения различаются архитектурой периферического замещения, которая определяет локализацию стерических взаимодействий на периферии тетрапиррольного макроцикла. Усиление стерических взаимодействий и их распространение на весь макроцикл приводит к существенному росту величины степени неплоскостных искажений макроцикла  $\Delta 23$ . Однако, для основности макроцикла важна не только величина степени неплоскостных искажений макроцикла  $\Delta 23$  в целом, но и локальные конформационные характеристики, определяющие положение пирроленинового фрагмента, который протонируется, его поворот из плоскости макроцикла и экспонирование неподделенной электронной пары атома азота в растворитель.

Анализ рассчитанных величин двугранного угла  $\varphi_D$  между плоскостью пирроленинового кольца D и средней плоскостью макроцикла 7C и параметра  $\Delta 23$  значений говорит об отсутствии однозначной корреляции этих величин. В то же время надо отметить, что все исследованные молекулы можно разделить на две группы, для одной из которых наблюдается большая величина двугранного угла  $\varphi_D$  ( $7-15^\circ$ ) и имеет заметную линейную зависимость от величины  $\Delta 23$ . Для другой группы величина угла  $\varphi_D$  равна  $0,5-3,5^\circ$  и не зависит от величины  $\Delta 23$ .

У соединений первой группы отсутствуют стерические взаимодействия между пиррольными кольцами в дипиррольном фрагменте из-за того, что в положениях  $C_2$  и  $C_{18}$  либо нет метильных заместителей вообще, либо есть только один. В данных структурах отсутствует отталкивание пиррольных колец, на что указывает малая длина связи  $C_1C_{19}$ , которая составляет  $141,9-142,4$  пм. В результате размеры ядра макроцикла уменьшаются, что приводит к стерическим напряжениям, которые минимизируются посредством формирования неплоскостных конформеров с большими углами наклона пиррольных колец относительно средней плоскости макроцикла. У соединений второй группы существует отталкивание метильных групп, присоединенных в положениях  $C_2$  и  $C_{18}$ , в результате чего длина связи  $C_1C_{19}$  существенно увеличивается. Вследствие этого увеличиваются размеры макроциклического ядра, что приводит к заметному снижению стерических напряжений в макроцикле. Равновесная молекулярная конформация формируется главным образом за счет изменения углов и длин связей в плоскости макроцикла, а не за счет больших отклонений макроцикла от планарного строения.

Таким образом, производные свободных оснований корролов с

метильными заместителями в квадрантах, не включающих дипиррольный фрагмент, должны иметь высокую основность в результате формирования конформера с большим углом наклона пирроленинового кольца относительно средней плоскости макроцикла. При этом атом азота пирроленинового кольца экспонируется в раствор и доступен для межмолекулярных взаимодействий. Напротив, если заместители размещены в  $C_b$ -положениях пиррольных колец дипиррольного фрагмента и соседних с ним  $C_m$ -положениях макроцикла, то соединения должны иметь низкую основность из-за того, что неподделенная электронная пара азота пирроленинового кольца лежит практически в плоскости тетрапиррольного макроцикла и экранируется от межмолекулярных взаимодействий в растворе. Следовательно, замещенные в трех  $C_m$ -положениях макроцикла производные будут обладать большей основностью по сравнению с  $C_b$ -замещенными производными. При этом основность  $C_m$ -замещенных производных будет существенно зависеть от типа заместителя, поскольку степень стерических взаимодействий с макроциклом (например, из-за наличия или отсутствия объемных групп в *орто*-положениях арильных заместителей) способна влиять на длину связи  $C_1C_{19}$  в дипиррольном фрагменте.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kruk, M. M. Influence of macrocycle protonation on the photophysical properties of porphyrins / M. M. Kruk, A. S. Starukhin, W. Maes // *Macroheterocycles*. – 2011. – Vol. 4, no. 2. – P. 69–79.
2. Kruk, M. M. Molecular structure and conformation of free base corroles / M. M. Kruk, D. V. Klenitsky, W. Maes // *Macroheterocycles*. – 2019. – Vol. 12, no. 1. – P. 58–67.
3. Ivanova, Yu. B. Corrole NH Tautomers: Spectral Features and Individual Protonation / Yu. B. Ivanova [et. al.] // *Journal of Physical Chemistry, A*. – 2012. – Vol. 116, no. 44. – P. 10683–10694.

Ю. Х. Аджиб, асп  
(Университет искусства, наук и технологий Ливана, г. Бейрут, Ливан);  
Н. Н. Крук, док. физ.-мат. наук, зав. кафедрой,  
П. Г. Климович, студ.; А. А. Минченя, студ.  
(БГТУ, г. Минск);  
В. Маес, проф.  
(Университет Хассельта, г. Хассельт, Бельгия)

## ТЕРМОХРОМИЗМ РАСТВОРОВ СВОБОДНЫХ ОСНОВАНИЙ 5,10,15-ЗАМЕЩЕННЫХ КОРРОЛОВ В ЭТАНОЛЕ

Молекулы корролов формируют группу сокращенных макроциклических соединений, содержащих три пиррольных и одно пирроле-ниновое кольцо, соединенных тремя метиновыми мостиками и одной С-С связью. Поскольку сумма ван-дер-ваальсовых радиусов трех протонов в ядре сокращенного макроцикла свободных оснований корролов превышает диаметр ядра, то происходит нарушение планарности тетрапиррольного макроцикла. Наблюдается выход пиррольных колец из плоскости макроцикла и пирамидализация пиррольных атомов азота, в результате чего они приобретают частичную  $sp^3$ -гибридизацию. Известно, что формирование неплоских конформеров тетрапиррольных макроциклов приводит к существенным изменениям их кислотных и основных свойств. Кисотно-основное равновесие корролов имеет особенность, поскольку молекулы свободных оснований корролов в растворах находятся в виде двух NH-таутомеров, которые отличаются спектрально-люминесцентными и физико-химическими характеристиками. Ранее нами было показано, что кислотно-основное равновесие в ядре макроцикла легко смещается при варьировании растворителя между свободным основанием и депротонированной формой коррола [1]. Попытки установить однопараметрическую корреляцию между смещением кислотно-основного равновесия и какой-либо из эмпирических величин, характеризующих основность либо полярность растворителя, не привели к успеху. В настоящей работе исследованы кислотно-основные равновесия в ядре макроцикла трех корролов с различной основностью. В качестве объектов исследования выбраны свободные основания 5,10-мезитил-15-(2,6-дихлоропиримидинил)-коррола **1**, 5,10-(2,6-дихлоропиримидинил)-15-фенил-коррола **2** и 5,10,15-(2,6-дихлоро-4-сульфометилпиримидинил)-коррола **3**, синтезированные по методике описанной в [2]. Температурная зависимость электронных спектров поглощения растворов исследуемых соединений в этаноле регистрировали на

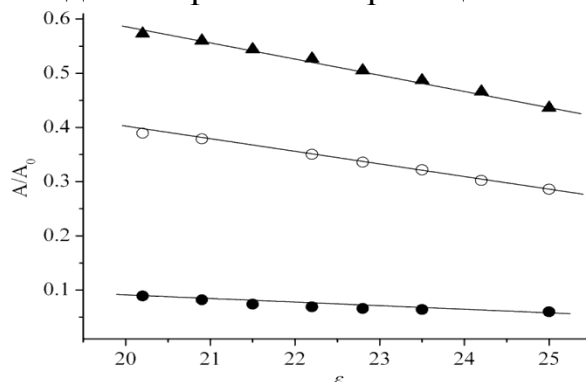
спектрофлуорометре СМ 2203 (ЗАО «Солар», Беларусь).

С целью изучения кислотно-основного равновесия в корролах **1-3** были измерены спектры поглощения в бинарных растворителях MeCN-EtOH. Обнаружено, что при увеличении объемной доли EtOH в растворе у всех соединений наблюдается переход от депротонированной формы к свободному основанию. В тоже время у них наблюдается разная скорость присоединения протона с увеличением объемной доли этанола в бинарном растворе MeCN-EtOH, равная 0,011, 0,028 и 0,025 (об.%)<sup>□1</sup> соответственно для корролов **1**, **2** и **3**. Это может указывать на кооперативность в связывании протонов, обусловленную соотношением констант основности отдельных пирролиновых колец.

Анализ температурной зависимости электронных спектров поглощения в этаноле в интервале температур 288□328 К трех 5,10,15-триарилкорролов позволяет сделать вывод о том, величина термхромных спектральных изменений возрастает в ряду **1**→**2**→**3**. Наличие изобестических точек в спектрах всех трех исследованных соединений указывает на то, что в растворах происходят взаимные превращения двух форм: происходит смещение кислотно-основного равновесия между свободным основанием корролов и депротонированной формой в сторону образования депротонированной формы. Следует отметить, что при 295 К 95% молекул коррола **1** находятся в форме свободного основания, а для корролов **2** и **3** в этаноле наблюдается соответственно около 30 и 50% молекул в депротонированной форме. Это можно объяснить уменьшением основности (увеличением кислотности) при переходе от коррола **1** к корролам **2** и **3**.

Относительная концентрация депротонированной формы  $A/A_0$  определяется по отношению величины поглощения в максимуме длинноволновой полосы депротонированной формы для растворов в этаноле, к величине соответствующего поглощения этого же коррола в ацетонитриле, когда все молекулы находятся в депротонированной форме. Зависимость величины  $\ln(A/A_0)$  от обратной температуры  $1/T$  имеет линейный характер, что указывает на активационный характер депротонирования. Величина энергии активации  $E_a$  в пределах ошибки измерения оказалась одинаковой  $E_a = 2,0$  ккал/моль ( $\sim 650\text{□}700$  см<sup>□1</sup>) для всех исследованных соединений. Согласно классическим представлениям величина свободной энергии Гиббса сольватации иона в растворителе обратно пропорциональна величине его диэлектрической проницаемости. С учетом того, что диэлектрическая проницаемость этанола уменьшается с ростом температуры в исследуемом температурном диапазоне по линейному закону [3], представляло интерес выявить зависимость относительной концентрации депротони-

рованной формы корролов **1-3** от диэлектрической проницаемости EtOH (рисунок 1). Очевидно, что наблюдаемые спектральные изменения, обусловленные депротонированием корролов **1-3**, описываются линейной функцией диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ .



**Рисунок 1 - Зависимость относительной концентрации депротонированной формы корролов 1-3 (снизу вверх) от диэлектрической проницаемости этанола**

Таким образом, можно сделать вывод о том, что термохромия свободных оснований корролов в этаноле обусловлена депротонированием макроцикла, обусловленного процессами специфической сольватации ядра тетрапиррольного макроцикла, которые смещают кислотно-основное равновесие в сторону образования депротонированной формы при увеличении температуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kruk, M. M. Solvent-Dependent Deprotonation of meso-Pyrimidinylcorroles: Absorption and Fluorescence Studies / M. M. Kruk, T. H. Ngo, V. A. Savva, A. S. Starukhin, W. Dehaen and W. Maes // J. Phys. Chem., A. – 2012. – Vol. 116, № 44. - P. 10704-10711.
2. meso-Pyrimidinyl-substituted A<sub>2</sub>B-corroles / W. Maes [et al.] // Org. Lett. – 2007. – Vol. 9. – P. 3165–3168.
3. Akerlöf, G. Dielectric constants of some organic solvent-water mixtures at various temperatures / G. Akerlöf // J. Am. Chem. Soc. – 1932. – Vol. 54. – P. 4125–4139.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СОСТАВА СЛОЕВ,  
ФОРМИРУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ ИОННО-АССИСТИРУЕМОГО  
ОСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТА**

В последние десятилетия активно разрабатываются процессы модифицирования поверхности с применением ионно-плазменных технологий, что обусловлено возможностью существенного повышения эксплуатационных качеств конструкционных и функциональных материалов без изменения структуры и свойств объема. В частности, легирование поверхности ускоренными ионами металлов представляет несомненный интерес при формировании активных и коррозионно-устойчивых слоев электрокатализаторов [1]. Углеродные материалы, в т.ч. графит, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к носителям электрокатализаторов, таким как электропроводность, достаточная химическая и электрохимическая стабильность, и др. В состав электрокатализаторов реакций окисления метанола и этанола вводят платину в качестве основного каталитического металла и такие активирующие добавки как олово и редкоземельные металлы [1].

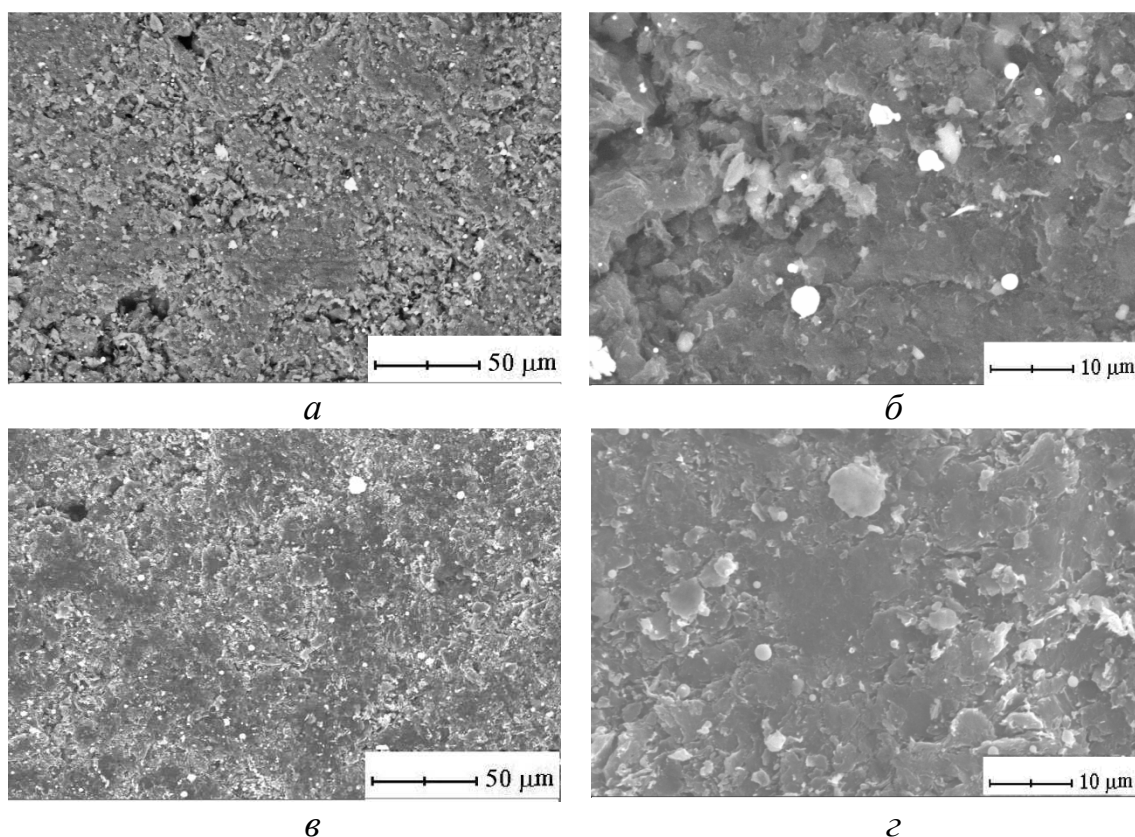
Целью данной работы явилось исследование микроструктуры и состава слоев, формируемых в процессе ионно-ассистируемого осаждения металлов на поверхности графита, и распределения в них атомов легирующих элементов.

В качестве основы для формирования легированных поверхностных слоев использован графит марки МГ-1 (MG) (ФГУП НИИГрафит). Отличительной особенностью режима ионно-ассистируемого осаждения металлов является использование ионов осаждаемого металла в качестве ассистирующих процессу осаждения [1]. Осаждение металла и перемешивание осаждаемого слоя с поверхностным слоем подложки ускоренными напряжением 5 кВ ионами того же металла проводили в экспериментальной установке, соответственно, из нейтральной фракции пара и плазмы вакуумного ( $p \sim 10^{-2}$  Па) дугового разряда импульсного электродугового ионного источника.

Микроструктура и состав слоев исследованы с применением сканирующей электронной микроскопии и электронно-зондового рентгеновского микроанализа (микроскоп JSM-5610LV и спектрометр EDX JED-2201 (JEOL Ltd); микроскоп LEO 1455 VP (Cambridge Instruments) в сочетании со спектрометром AZtec Energy Advanced X-Max80 (Oxford Instruments)), а также методом спектрометрии резерфордовского

обратного рассеяния (ускорительный комплекс AN-2500 (High Voltage Engineering Europe)).

Результаты исследований микроструктуры, состава и распределения атомов легирующих элементов в сформированных поверхностных слоях графита, иллюстрируют возможности используемого режима осаждения. Анализ электронно-микроскопических изображений (рисунок 1) позволяет заключить, что структура формируемых слоев практически повторяет структуру подложки и не изменяется в процессе ионно-лучевого легирования.

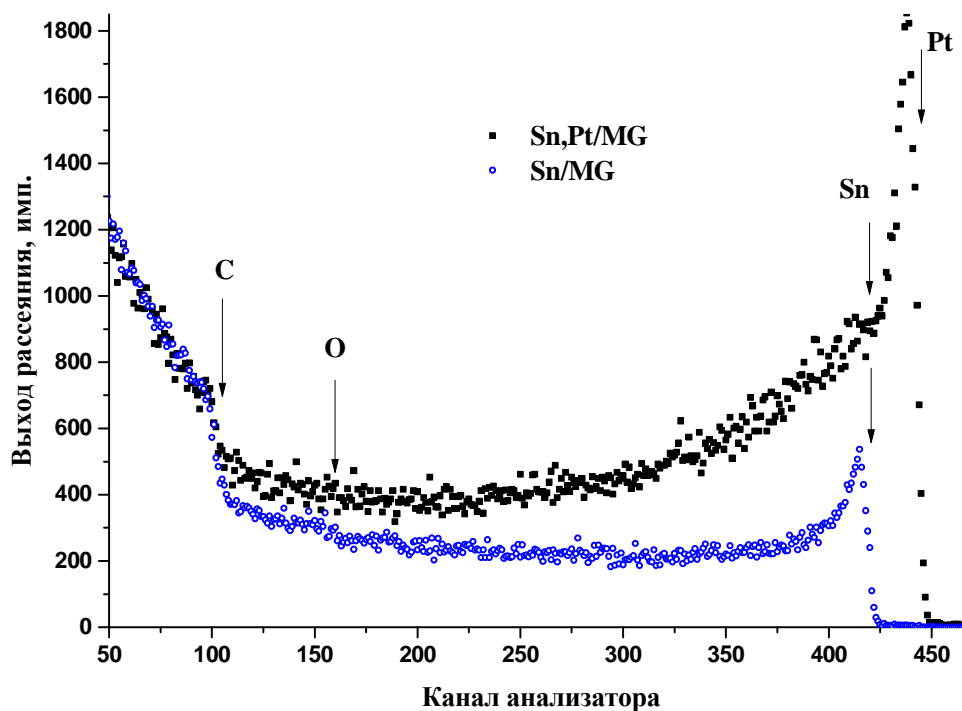


**Рисунок 1 - Электронно-микроскопические изображения слоев, сформированных на графите осаждением церия (а, б) и церия и платины (в, г)**

В состав формируемых слоев входят атомы осаждаемых металлов, материала носителя – углерода, а также примеси кислорода, поступающего из остаточной атмосферы рабочей камеры. Содержание осаждаемых металлов в формируемых слоях составляет несколько массовых процентов. На поверхности имеются включения осаждаемых металлов размером порядка нескольких микрометров (рисунок 1), что обусловлено осаждением капель металла из дугового разряда ионного источника. Атомы легирующих металлов распределены по поверхности, за исключением капельной фазы, практически равномерно.



По данным спектрометрии резерфордского рассеяния (рисунок 2) распределение атомов осажденных металлов по толщине слоев, составляющей ~30 нм, характеризуется максимумом концентрации, расположенным вблизи поверхности или на небольшой глубине. Концентрация атомов металлов в максимуме распределения достигает ~10 ат.%. Наличие капельной фазы отображается в спектрах сравнительно интенсивным фоновым сигналом в интервале каналов анализатора ~160–380.



**Рисунок 2 – Спектры резерфордского рассеяния ионов  $^4\text{He}$  на ядрах атомов элементов, входящих в состав слоев, сформированных на графите осаждением олова (Sn/MG) и олова и платины (Sn, Pt/MG)**

Таким образом, установлено, что при ионно-ассистированном осаждении металлов вследствие ионного перемешивания атомов осаждаемых металлов с атомами материала носителя на поверхности графита формируются наноразмерные многокомпонентные слои, включающие атомы осаждаемых металлов, материала носителя – углерода, а также примеси кислорода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Poplavsky, V. V. On the Formation of Electrocatalysts for Methanol and Ethanol Oxidation by the Ion Beam-Assisted Deposition of Rare-Earth Metals and Platinum on Carbon Carriers / V. V. Poplavsky, A. V. Dorozhko, V. G. Matys // J. Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2019. – Vol. 13, No. 6. – P. 1314–1322.

УДК 539.213.2

А. В. Мисевич, канд. физ.-мат. наук, доц.; А. Н. Лаппо, ассист.  
(БГТУ, г. Минск);

В. К. Долгий, канд. физ.-мат. наук, зав. кафедрой  
(БГАТУ, г. Минск)

## ИЗУЧЕНИЕ ФОТОПРОВОДИМОСТИ ПЛЕНОК ФТАЛОЦИАНИНА СВИНЦА МЕТОДОМ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ТЕРМОДЕСОРБЦИИ

Фталоцианины являются перспективными материалами при разработке газовых сенсоров, солнечных батарей и светоизлучающих диодов [1]. Целью данной работы является изучение влияния адсорбированного кислорода на фотопроводимость пленок фталоцианина свинца и определение вклада собственных и примесных состояний в процесс фотопроводимости.

Пленки фталоцианина свинца толщиной 100 нм были осаждены на подложки из поликора со встречно-штыревой системой электродов методом лазерного распыления в вакууме. Для измерения фотопроводимости поверхность пленок освещалась красным светодиодом ( $\lambda = 660$  нм), что соответствует области собственного поглощения материала. Температурные зависимости проводимости и фотопроводимости измерялись в вакууме при давлении  $10^{-2}$  Па с использованием метода циклической термодесорбции [2].

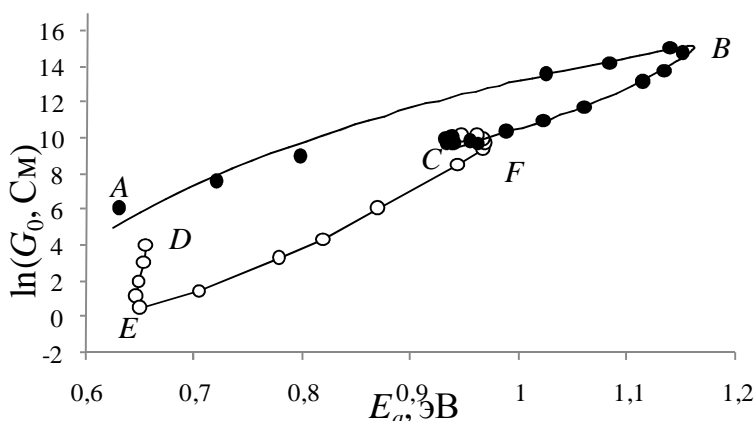
Удельная проводимость  $\sigma$  фталоцианинов зависит от температуры  $T$  в соответствии с выражением

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right), \quad (1)$$

где  $\sigma_0$  - предэкспоненциальный множитель, определяющий вероятность нерезонансного туннелирования электронов через потенциальные барьеры между центрами локализации;  $E_a$  - энергия активации проводимости,  $k$  - постоянная Больцмана. Повышение температуры при измерениях температурных зависимостей проводимости сопровождается десорбцией адсорбированного кислорода. Поэтому температурные зависимости проводимости, полученные при охлаждении образца от разных температур, позволяют определить набор значений  $\sigma_0$  и  $E_a$ , соответствующих различным концентрациям адсорбированного кислорода.

Полученные таким образом при постепенном увеличении температуры пленок PbPc от 40 до 140°C данные представлены на рисунке 1. Результаты, полученные для темновой проводимости,

показывают, что по мере десорбции кислорода вначале (интервал  $A-B$  на графике) наблюдается увеличение, как энергии активации проводимости, так и вероятности нерезонансного туннелирования электронов (предэкспоненциального множителя  $\sigma_0$ ), что соответствует увеличению концентрации центров локализации, обеспечивающих прыжковый электроперенос. Затем, по достижении некоторой критической концентрации адсорбированного кислорода (точка  $B$  на графике), дальнейшее уменьшение этой концентрации уменьшает значения  $E_a$  и  $\sigma_0$  (интервал  $B-C$ ), т. е. концентрация центров локализации уменьшается.



**Рисунок 1 - Взаимосвязь между предэкспоненциальным множителем  $\sigma_0$  и энергией активации проводимости  $E_a$  пленок PbPc**

Полученные результаты могут быть объяснены, если учесть, что в пленках PbPc перенос электронов может осуществляться как по собственным с радиусом локализации  $a_1$ , так и по примесным с радиусом локализации  $a_2$  состояниям, причем  $a_2 < a_1$ . Такое соотношение между радиусами локализации обусловлено тем, что примесное состояние образуется при связывании молекул кислорода молекулами фталоцианинов, в результате чего возникающее примесное состояние изымается из набора собственных электронных состояний и опускается ниже по шкале энергий.

Анализ полученных для темновой проводимости данных, проведенный на основе двухуровневой модели прыжковой проводимости [2], показывает, что в пленках фталоцианина свинца при высоких концентрациях адсорбированного кислорода проводимость осуществляется по собственным центрам локализации, а при десорбции кислорода происходит переход к проводимости по примесным центрам локализации.

Измерения фотопроводимости пленок PbPc, представленные на

рис 1, показывают иной характер взаимосвязи между энергией активации фотопроводимости  $E_a$  и предэкспоненциальным множителем  $\sigma_0$ . В ходе десорбции кислорода сначала на участке  $D-E$  происходит уменьшение предэкспоненциального множителя  $\sigma_0$ , но энергия активации фотороводимости  $E_a$  при этом не изменяется. Затем на участке  $E-F$  при дальнейшем уменьшении концентрации адсорбированного кислорода предэкспоненциальный множитель  $\sigma_0$  и энергия активации фотопроводимости  $E_a$  начинают увеличиваться. Эти результаты находят свое объяснение, если считать, что фотопроводимость – процесс неактивационный, поэтому электроперенос обусловленный фотовозбуждением происходит по тем центрам локализации, концентрация которых больше, т. е. при высоких концентрациях адсорбированного кислорода проводимость – примесная, а при низких – собственная. По мере нагревания образца идет возрастание темновой проводимости, и вклад фотопроводимости в общую проводимость уменьшается. При некоторой достаточно высокой температуре близкой к 140°C темновая проводимость возрастает на столько, что энергия активации и предэкспоненциальный множитель в темноте и при освещении практически не отличаются.

Таким образом, метод циклической термодесорбции в сочетании с двухуровневой моделью прыжковой проводимости позволяет по виду, ходу и параметрам экспериментальной зависимости предэкспоненциального множителя  $\sigma_0$  в температурной зависимости проводимости и фотопроводимости от энергии активации  $E_a$  определять, по каким состояниям - собственным или примесным - осуществляется прыжковый перенос электронов.

Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации устройств органической электроники, в которых применяются тонкие пленки фталоцианинов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Симон, Ж. Молекулярные полупроводники / Ж. Симон, Ж.-Ж. Андре – М.: Мир, 1988. – 342 с.
2. 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.

А. В. Мисевич, канд. физ.-мат. наук, доц.,  
А. Н. Лаппо, ассист. (БГТУ, г. Минск)

### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КУЛОНОВСКОГО РАСЩЕПЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ В МАТЕРИАЛАХ С ПРЫЖКОВОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

В настоящее время активно разрабатываются электронные устройства (газовые сенсоры, светоизлучающие диоды, солнечные элементы) на основе органических веществ и в частности на основе молекулярных кристаллов (фталоцианинов, периленов и др.). Для теоретического описания электрофизических свойств таких материалов необходимо знать, как влияет кристаллическая структура и наличие дефектов в кристалле на положение уровня Ферми. Широко известно выражение для энергии Ферми классического полупроводника, полученное в предположении малой концентрации легирующей примеси и малой степени компенсации [1]

$$\mu = 0,61 \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}, \quad (1)$$

где  $e$  – элементарный заряд;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная;  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость материала;  $r$  – среднее расстояние между атомами легирующей примеси. Данное выражение часто используется при описании свойств молекулярных кристаллов, однако оправданность такого приближения никем не доказана. Цель данного исследования – расчет энергетической плотности локализованных состояний и энергии Ферми в приближении кулоновского взаимодействия носителей заряда с заряженными примесями в кристаллах с наиболее простыми типами кристаллических решеток – кубической и тетрагональной.

В основу моделирования были положены следующие исходные положения: 1) рассматривалась решетка размерами  $10 \times 10 \times 10$  элементарных ячеек; 2) дефекты решетки имели отрицательный элементарный заряд и распределялись по объему решетки случайным образом; 3) доля дефектов варьировалась в пределах 0,001–0,01; 4) диэлектрическая проницаемость среды принималась равной 1; 5) концентрация узлов решеток варьировалась в пределах  $10^{27}$ – $10^{28}$  м<sup>-3</sup>; 6) степень отклонения тетрагональной решетки от кубической характеризовалась параметром  $t = c/a$ , где  $c$  и  $a$  – параметры элементарной ячейки.

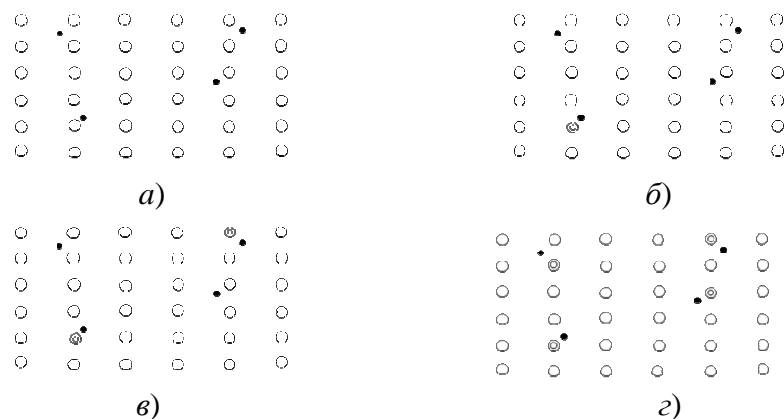


Рисунок 1

Алгоритм моделирования кулоновского расщепления зоны проводимости следующий:

1. Расчет параметров элементарной ячейки, исходя из концентрации узлов  $n$  и параметра тетрагональности  $t$

$$a = b = (t \cdot n)^{1/3}, \quad c = t \cdot a, \quad (2)$$

2. Расчет числа заряженных дефектов  $N_y$ , исходя из их доли  $y$  в решетке

$$N_y = y \cdot N_a \cdot N_b \cdot N_c, \quad (3)$$

где  $N_a \cdot N_b \cdot N_c$  – размер решетки.

3. Случайное распределение заряженных дефектов по объему решетки (рисунок 1, а).

4. Расчет кулоновского потенциала, создаваемого заряженными дефектами в узлах решетки.

5. Размещение первого носителя заряда (дырки) в узле с наибольшим потенциалом (рисунок 1, б).

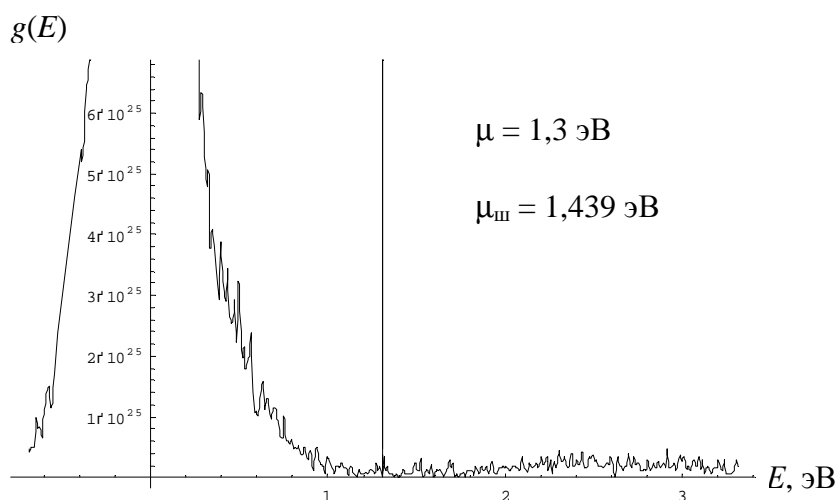
6. Расчет кулоновского потенциала, создаваемого заряженными дефектами и носителем заряда в узлах решетки.

7. Размещение следующего носителя заряда (дырки) в узле с наибольшим потенциалом (рисунок 1, в).

8. Повторение действий 6 и 7, до тех пор, пока все носители заряда, число которых равно числу дефектов, не займут наиболее выгодные положения в решетке (рисунок 1, г).

9. Расчет результирующего кулоновского потенциала на всех узлах решетки.

10. Построение функции плотности электронных состояний решетки. На рисунке 2 в качестве примера показана функция плотности состояний для простой кубической решетки при  $n = 10^{27} \text{ м}^{-3}$  и  $y = 0,005$ .



**Рисунок 2**

11. Расчет энергии Ферми, исходя из полученной плотности состояний. Для функции плотности состояний, показанной на рисунке 2, значение энергии Ферми составило 1,3 эВ, тогда как расчет по формуле (1) дает значение 1,439 эВ.

Для простой кубической и тетрагональной решеток по данному алгоритму были рассчитаны зависимости энергии Ферми  $\mu$  от доли заряженных дефектов решетки  $y$ , параметра  $t$ , характеризующего тетрагональность решетки, и от доли примесных центров локализации в узлах решетки.

Анализ результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы:

1. В простой кубической и тетрагональной кристаллических решетках плотность электронных состояний имеет кулоновскую щель в окрестности уровня Ферми.

2. Формула (1) дает заниженные значения энергии Ферми для простой кубической и тетрагональных кристаллических решеток.

3. Энергия Ферми в кубических и тетрагональных кристаллических решетках не зависит от доли заряженных дефектов решетки.

4. Увеличение параметра  $t$  тетрагональной кристаллической решетки приводит к возрастанию энергии Ферми.

5. Энергия Ферми в решетке, содержащей примесные центры локализации, зависит главным образом от концентрации тех состояний, энергетические уровни которых расположены ближе к уровню Ферми.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шкловский, Б. И. Электронные свойства легированных полупроводников / Б. И. Шкловский, А. Л. Эфрос – М.: Наука, 1979. – 416 с.

УДК 676.22.017

А. Н. Лаппо, ассист.; А. В. Мисевич, канд. физ.-мам. наук доц.;  
А. Е. Почтенный, канд. физ.-мат. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПЕРЕНОСА И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КОМПОНЕНТАХ ОРГАНИЧЕСКИХ ГЕТЕРОСТРУКТУР**

В последние годы интенсивно проводятся исследования в области органических электронных материалов. При этом практический интерес представляет выявление условий, улучшающих эффективность и фотоэлектрические свойства органических гетероструктур [1].

Целью работы является получение гетероструктур на основе органических полупроводников, определение микроскопических параметров электропереноса компонентов гетероструктур, исследование фотоэлектрических свойств данных гетероструктур и определение взаимосвязи микроскопических параметров электропереноса с фотоэлектрическими свойствами. Результаты такого исследования могут служить базой для прогнозирования и оптимизации органических гетероструктур, предназначенных для органических элементов.

В результате исследования были получены многослойные тонкопленочные гетероструктуры на основе фталоцианина меди (CuPc), N,N'-диметилдиимида перилентетракарбоновой кислоты (PTCDI), безметального фталоцианина (H<sub>2</sub>Pc), фталоцианина свинца (PbPc) с различным чередованием слоев. При исследовании полученных гетероструктур использовались оптическая спектроскопия, измерение спектров фото-ЭДС, которые проводились с помощью монохроматора спектрофотометра SPECORDM40, измерение вольт-амперных характеристик гетероструктур. А также методом циклической термодесорбции были измерены температурные зависимости проводимости и определены микроскопические параметры электропереноса органических компонентов гетероструктур.

Гетероструктуры Au/PTCDI/CuPc/ITO, Au/CuPc/PTCDI/ITO, Au/PTCDI/PbPc/ITO, Au/PTCDI/H<sub>2</sub>Pc/ITO осаждались методом термического осаждения в вакууме на подложку из стекла и состояли из нескольких слоев: слой прозрачного полупроводника окислов индия и олова (ITO), слой производной фталоцианина (CuPc или H<sub>2</sub>Pc, или PbPc) толщиной 50 нм, слой производной перилена (PTCDI) толщиной 50 нм и верхний полупрозрачный электрод – золото 50 нм.

Данные циклической термодесорбции позволили определить прыжковый тип проводимости органических компонентов органи-



ческих гетероструктур, а также рассчитать радиусы локализации примесных и собственных состояний.

Для гетероструктуры Au/PTCDI/CuPc/ITO были получены спектры фото-ЭДС, спектр поглощения структуры и спектры поглощения отдельных органических слоев, из которых состоит гетеропереход. Как показали измерения спектров поглощения, спектр поглощения структуры образуется путем наложения спектров поглощения отдельных органических слоев [2].

Как показано на рисунке 1 максимумы фото-ЭДС гетероструктуры наблюдаются при длинах волн, соответствующим максимумам поглощения CuPc и PTCDI. Таким образом, используя двухслойный элемент, состоящий из CuPc и PTCDI, можно увеличить светочувствительную область и спектральную ширину области поглощения.

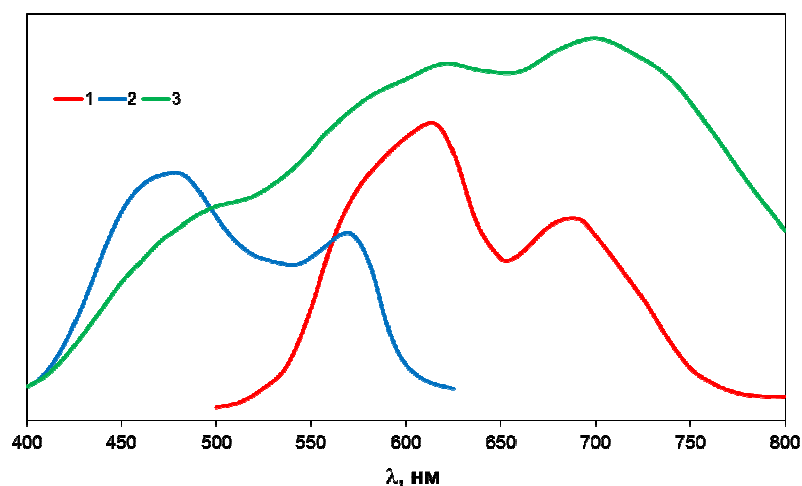


Рисунок 1 - Спектры CuPc (1) и PTCDI (2) и спектр фото-ЭДС гетероструктуры Au/PTCDI/CuPc/ITO(3)

Измерения ВАХ для гетероструктур Au/PTCDI/CuPc/ITO, Au/CuPc/PTCDI/ITO, Au/PTCDI/PbPc/ITO, Au/PTCDI/H2Pc/ITO показали, что при освещении ВАХ не проходят через начало координат, что свидетельствует о наличии фото-ЭДС, и меняют свой наклон, что указывает на наличие фотопроводимости в органических слоях. Для Au/PTCDI/CuPc/ITO фото-ЭДС в разомкнутом контуре положительна ( $V_{oc} = 0,37$  В, фототок короткого замыкания  $I_{sc} = 2,484$  нА), а для элемента Au/CuPc/PTCDI/ITO - отрицательна ( $V_{oc} = 0,1$  В). Из анализа ВАХ для остальных гетероструктур фотоэлектрические параметры при освещении через слой ITO указаны в таблице.

Для изучения влияния адсорбированного кислорода на свойства гетероперехода были проведены исследования элементов Au/PTCDI/CuPc/ITO с повышенной концентрацией адсорбированного кислорода на границе раздела PTCDI/CuPc. При увеличении концен-

трации кислорода на границе раздела происходит уменьшение фото-ЭДС ( $V_{oc} = 0,0297$  В), тогда как фотопроводимость органических слоев сохраняется.

Согласно полученным данным при увеличении радиуса локализации органического компонента увеличиваются фото-ЭДС и фототок короткого замыкания. Так как величина радиуса локализации характеризует высоту потенциальных барьеров между локализованными состояниями, меньшие значения радиуса локализации свидетельствуют о более высоких потенциальных барьерах, разделяющих локализованные состояния, и, соответственно, о более глубоком залегании электронных энергетических уровней, обеспечивающих перенос.

**Таблица - Значения радиусов локализации ( $a$ , нм) органических компонентов гетероструктур и фотоэлектрические параметры гетероструктур**

Структура	$V_{oc}$ , В	$I_{sc}$ , нА	$a$ , нм			
			CuPc	PbPc	H <sub>2</sub> Pc	PTCDI
Au/PTCDI/CuPc/ITO	0,37	2,484	$0,89 \pm 0,14$	□	□	$0,3 \pm 0,15$
Au/CuPc/PTCDI/ITO	0,1	0,065	$0,89 \pm 0,14$	□	□	$0,3 \pm 0,15$
Au/PTCDI/PbPc/ITO	0,3	0,2712	□	$0,425 \pm 0,11$	□	$0,3 \pm 0,15$
Au/PTCDI/H <sub>2</sub> Pc/ITO	0,235	4,102	□	□	$0,2 \pm 0,095$	$0,3 \pm 0,15$
Au/PTCDI/CuPc/ITO	0,0297	0,0887	$0,89 \pm 0,14$	□	□	$0,3 \pm 0,15$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Electrical transport in crystalline perylene derivatives films for electronic devices / A. Stanculescu [et al.] // Solid State Sciences. - 2008. - Vol. 10, no. 12. - P. 1762-1767.
2. Лаппо, А. Н. Фотоэлектрические свойства гетероструктуры фталоцианин-периленовый пигмент / А. Н. Лаппо, А. В. Мисевич, А. Е. Почтенный // Физико-математические науки: материалы 83-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1-14 февраля 2019 г., БГТУ. - Минск, 2019. - С. 7.

**ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ В АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ  
ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ АЛЮМИНИЯ**

Имплантация ионов  $Al^{+}$  в GaAs интересна в связи с возможностями синтеза арсенида алюминия-галлия – тройного соединения мышьяка с трехвалентными алюминием и галлием, переменного состава, который выражается химической формулой  $Al_xGa_{1-x}As$ . При этом возможно также получение AlGaAs применяемого в промежуточных слоях полупроводниковых гетероструктур для вытеснения электронов в слой чистого арсенида галлия. Соединение AlGaAs может быть использовано для создания полупроводниковых лазеров ИК-диапазона, фотодатчиков, использующих эффект квантовой ямы [1].

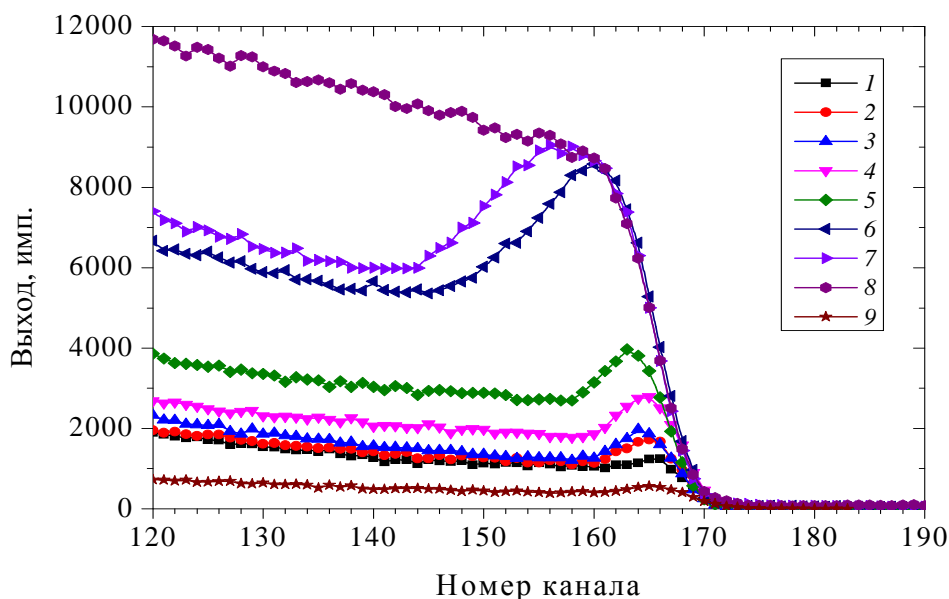
При имплантации ионов в полупроводниковые материалы электрофизические свойства модифицированных поверхностных слоев в значительной степени определяются не только видом и количеством добавок, но и еще и формирующимися в них во время и после имплантации радиационными дефектами. В данной работе изучалась кинетика накопления дефектов структуры в кристалле (111) GaAs, облучаемой ионами алюминия энергией 60 кэВ и дозами  $4,10 \cdot 10^{13} Al^{+}/cm^2$  –  $8,14 \cdot 10^{15} Al^{+}/cm^2$  при комнатной температуре. Для этого использовали метод резерфордского обратного рассеяния ионов гелия с  $E_0 = 1$  МэВ в сочетании с каналированием (РОРКИ). Спектры РОРКИ ионов гелия регистрировались поверхностно-барьерным детектором с  $\Delta E = 15$  кэВ в условиях стандартной ( $\theta = 150^\circ$ ) геометрии. При этом достигалось разрешение по глубине в 8,8 нм/канал.

На рисунке 1 показаны энергетические (111) осевые спектры ОР кристаллов GaAs, модифицированных имплантацией ионов алюминия при комнатной температуре разными дозами. Осевой выход ориентированного спектра в области 142–172 каналов, связанный с повреждением в кристалле, растет с увеличением дозы имплантации ионов алюминия. Вместе с тем, рост уровня деканалирования за пиком повреждений обнаруживает тот факт, что в кристалле GaAs могут формироваться дефекты структуры разного типа. Глубина максимальной концентрации дефектов сравнима с глубиной проникновения ионов алюминия с соответствующей энергией в кристалл арсенида галлия. При увеличении дозы до  $4,07 \cdot 10^{15} Al^{+}/cm^2$  наступает аморфизация приповерхностного слоя кристалла и при дальнейшем увеличении до-

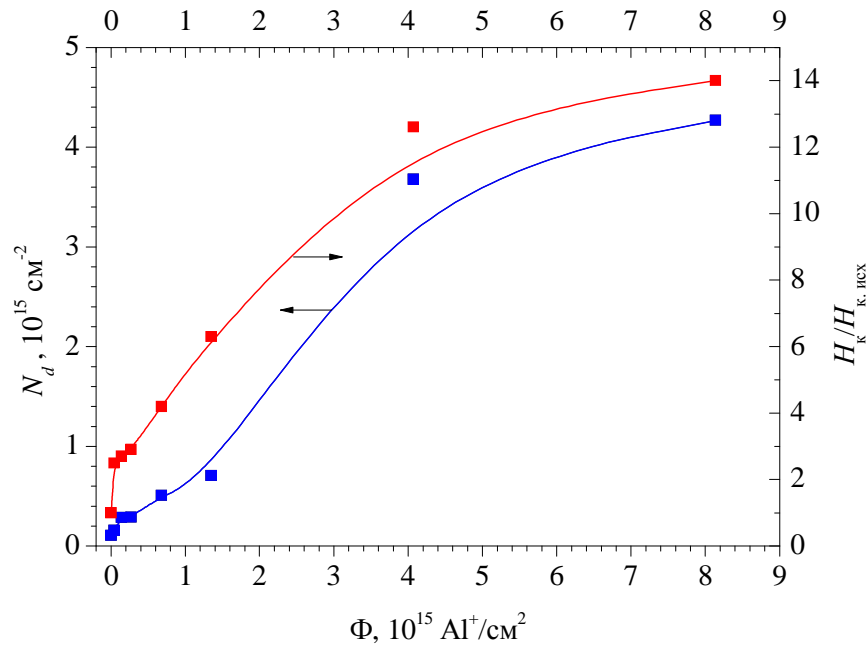
зы до  $8,14 \cdot 10^{15} \text{ Al}^+/\text{см}^2$  происходит уширение толщины аморфного слоя.

При имплантации в GaAs ионов  $\text{Al}^+$  с энергией 60 кэВ в нем возможно образование простых дефектов (пар Френкеля) и кластеров дефектов, число которых с увеличением дозы растет. Взаимодействуя друг с другом, они образуют области скопления дефектов, и перекрываясь, могут формировать зародыши аморфных зон. Далее при увеличении плотности аморфных зон и их перекрытии образуется сплошной аморфный слой в арсениде галлия.

Слоевая концентрация дефектов, как и нормированный уровень деканализирования  $\chi = H_{\text{к}}/H_{\text{к.исх.}}$ , рассчитанные по спектрам РОР, увеличиваются с увеличением дозы имплантированных ионов алюминия (рисунок 2). Степень дефектности  $\chi$  кристалла GaAs слабо растет при малых дозах имплантации ионов алюминия и сильно возрастает при достижении дозы  $4,07 \cdot 10^{15} \text{ Al}^+/\text{см}^2$ . Наблюдаемая нелинейная зависимость нарушения кристаллической решетки свидетельствует о наличии различных механизмов дефектообразования при изменении дозы ионной имплантации.



**Рисунок 1 - Энергетические (111) осевые спектры ионов  $^4\text{He}$  с  $E_0=1,0$  МэВ от GaAs, имплантированного ионами алюминия с энергией 60 кэВ дозами:**  
**1 –  $4,10 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ ; 2 –  $1,35 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ ; 3 –  $2,70 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ ; 4 –  $6,78 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ ;**  
**5 –  $1,35 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ; 6 –  $4,07 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ; 7 –  $8,14 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ;**  
**8 – случайный спектр и 9 – исходный осевой спектр от GaAs**



**Рисунок 2 - Дозовая зависимость слоевого содержания дефектов  $N_d$  и нормированного уровня деканалирования  $H_k/H_{k, \text{исх}}$  для (111) осевых спектров обратного рассеяния ионов гелия от кристаллов GaAs имплантированных ионами алюминия при комнатной температуре**

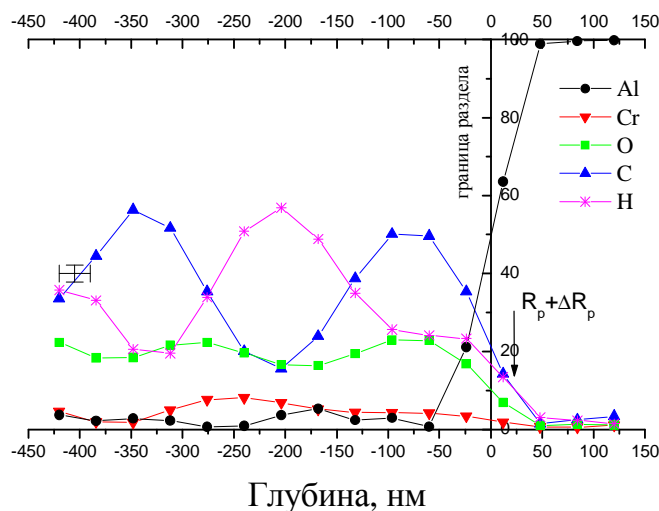
Имплантация больших доз ионов, приводящая к полной аморфизации поверхностного слоя кристалла, является нежелательным процессом, так как может приводить к ухудшению электрических свойств имплантированного слоя кристалла GaAs. В нашем случае имплантация при комнатной температуре ионов алюминия до доз  $1,35 \cdot 10^{15} \text{ Al}^+/\text{cm}^2$  не приводит к аморфизации поверхностного слоя, а в случае применения более высоких доз имплантации для снижения слоевой концентрации дефектов потребуются дополнительный отжиг образцов. Полученные зависимости повреждения структуры GaAs от дозы ионов в различных условиях согласуются с действующими моделями разупорядочения полупроводников при ионном внедрении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Полупроводниковые приборы на основе арсенида галлия с глубокими примесными центрами / Хлудков С.С. [и др.] // под ред. О.П. Толбанова. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2016. – 258 с.

## ВЛИЯНИЕ ИОННО-АССИСТИРУЕМОГО ОСАЖДЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ВОДОРОДА В СТРУКТУРАХ ME/SI

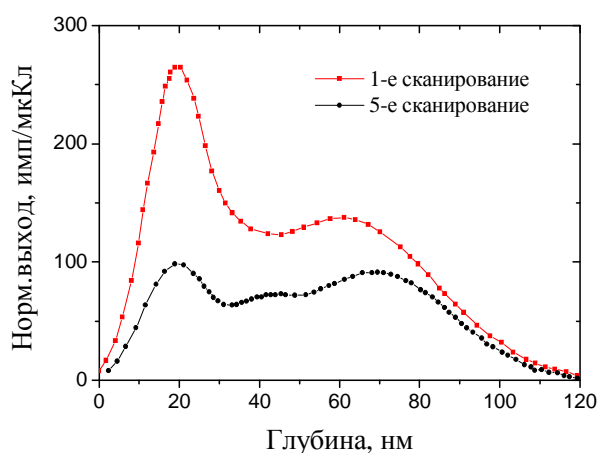
В работе обсуждаются экспериментальные результаты по изучению приповерхностных слоев структур Me/Si, сформированных методом ионно-ассистируемого осаждения в вакууме. В качестве подложки использовался образцы из кремния, на которые наносились металлсодержащие покрытия на основе Cr, Ti, Zr. Осаждение покрытий осуществлялось при ускоряющих напряжениях  $U = (5-10)$  кВ, плотности ионного тока  $\sim(6-20)$  мкА/см<sup>2</sup>, время осаждения покрытий составляло 1–12 часов, что соответствовало интегральным потокам ассистирующих ионов  $\sim(1-12) \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>. В рабочей камере в процессе осаждения покрытий 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. Моделирование показало, что в состав полученных структур должно входить  $\sim 20-30$  ат.% водорода (рисунок 1).



**Рисунок 1 - Профили распределения компонентов по глубине, полученные моделированием на основе данных исследования методом РОР структуры Cr/Si**

Метод РОР не позволяет напрямую установить наличие водорода в приповерхностных слоях структур. Для установления водорода в сформированных Me/Si структурах, были проведены

эксперименты с применением метода ядерных реакций (ЯР). Для этого использовалась резонансная ядерная реакция  ${}^1\text{H}({}^{15}\text{N}, \alpha\gamma){}^{12}\text{C}$ . Распределение водорода в покрытиях по глубине было определено при проведении прямых экспериментов с использованием резонансной ( $\Gamma = 1,86$  кэВ) ядерной реакции при взаимодействии ионов азота с водородом. Для этого применялось сканирование энергии ионов  $\text{N}^+$  в интервале значений от 6380 МэВ до 6830 МэВ и 7000 МэВ через 10 кэВ в зависимости от толщины покрытий. Экспериментальные результаты представлены на рисунке 2. Они подтверждают данные моделирования RUMP о наличии водорода в сформированных структурах.

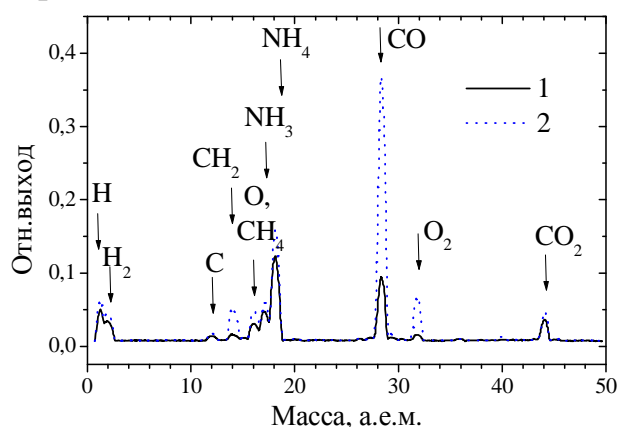


**Рисунок 2 - Распределение водорода по глубине в Zr/Si-структуре, полученной при времени осаждения  $t = 3$  часа**

После 5-го сканирования поверхности образца пучком анализирующих ионов (рисунок 2) слоевая концентрация водорода в анализирующем слое практически не изменяется и становится равной согласно данным эксперимента  $\sim 1,1 \cdot 10^{16}$  ат/см<sup>2</sup>. Однако при первом сканировании (рисунок 2) измеряемая слоевая концентрация водорода в покрытии в  $\sim 1,8$  раза больше, чем измеряемая при последующих сканированиях. Уменьшение количества водорода в покрытии под воздействием анализирующего луча, мы интерпретируем как дегазацию атомов водорода, которые оказались химически слабо связаны с другими атомами покрытия.

На рисунке 3 (кривая 2) с расшифровкой представлены данные анализа состава элементов, выделяющихся из сформированных покрытий под воздействием пучка анализирующих ионов  $\text{N}^+$ . В качестве сравнения на рисунке 3 (кривая 1) приведены данные анализа состава элементов, выделяющихся из чистого кремния под воздействием пучка ионов  $\text{N}^+$ . Анализ показал, что под воздействием анализирующего пучка ионов азота из покрытий выделяются  $\text{H}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{CH}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ . Полученные результаты

подтверждают вывод о том, что под воздействием пучка ионов азота из покрытия выделяется атомарный и молекулярный водород, а также соединения водорода.



**Рисунок 3 - Данные масс-спектрального анализа состава элементов, выделяющихся из образцов при проведении эксперимента методом ЯР**

Аналогичные результаты получены при исследовании покрытий на основе Cr, Ti. В таблице представлены данные содержания водорода в исследуемых структурах.

**Таблица - Концентрации водорода в структурах Me/Si**

Структура	Время осаждения, ч	U, кВ	Глубина слоя, нм	Относительная концентрация, ат.%
Cr/Si	6	5	174	9,8
	12	5	220	13,7
Ti/Si	2	7	126	16,7
	4	7	153	18,9
Zr/Si	1	10	83	3,0
	3	10	144	1,0

Наибольшее количество водорода было обнаружено в структуре Ti/Si. Это эффект можно связать с высокой адсорбционной способностью титана и его соединений. Также следует отметить, что содержание водорода увеличивается с увеличением времени осаждения покрытия. Исследование структур Me/Si, полученных ионно-ассистированным осаждением металлосодержащих покрытий, проведенное с применением метода резонансной ядерной реакции показало, что сформированные покрытия содержат от 1 до 20 ат.% водорода. Источником водорода в покрытиях является летучая фракция углеводорода вакуумного масла диффузионного паромасляного насоса. Концентрация водорода уменьшается в ~1,5–2,0 раза при повторных сканированиях образцов пучком анализирующих ионов, что связано с дегазацией атомов H, которые не связаны с атомами покрытия.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ С ПОМОЩЬЮ СВЧ-ЗОНДИРОВАНИЯ

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].

В данной работе предлагается оценивать скорость поверхностной рекомбинации  $S$  в стационарном режиме по измеренным значениям интенсивности фотовозбуждающего источника  $I_s$  и концентрации  $n_s$  носителей заряда в приповерхностной области полупроводникового слоя:

$$S = \frac{q_s}{n_s} = \frac{I_s(1-R)}{h\nu n_s},$$

где  $q_s$  ( $\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$ ) – поверхностная плотность избыточных носителей заряда, образующихся за 1 с в результате возбуждения;  $R$  – коэффициент отражения фотовозбуждающего излучения от образца;  $\nu$  – его частота.

Для фотовозбуждения кремниевой пластины  $n$ -Si применялось излучение лазерного диода с длиной волны 0,96 мкм (мощность  $\sim 4$  мВт). Толщина пластины 0,5 мм. Концентрация носителей в приповерхностной облучаемой области полупроводниковой пластины определялась по частоте  $\omega_0$  магнитоплазменного поглощения зондирующего излучения, при которой наблюдается минимальное пропускание. Частота  $\omega_0$  зависит от концентрации носителей и от магнитного поля. Если постоянное внешнее магнитное поле направлено перпендикулярно распространению зондирующей волны, то выражение для концентрации  $n$  имеет вид:

$$n = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 m^*}{e^2} (\omega_0^2 - \omega_c^2), \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость пластины в постоянном поле;

$\epsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;  $m^*$  – эффективная масса электрона;  $e$  – элементарный заряд;  $\omega_c = (eB_0/m^*)$  – циклотронная частота;  $B_0$  – индукция магнитного поля, при которой наблюдается минимальное пропускание.

Изменяемым параметром при измерениях являлась магнитная индукция, определяющая циклотронную составляющую частоты  $\omega_0$ . Минимальное пропускание наблюдалось на частотах зондирующего излучения 75 и 78 ГГц, при значениях магнитной индукции 0,5 и 0,75 Тл, соответственно. С использованием этих данных и значения эффективной массы для Si  $1,08m_0$  получено значение концентрации электронов в образце  $8,8 \cdot 10^{20}$  и  $9,1 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$ . Оценка концентрации электронов в приповерхностной облучаемой области с учетом коэффициента поглощения кремния  $10^2 \text{ м}^{-1}$  на длине волны фотовозбуждающего излучения (0,96 мкм) дает значение, которое может отличаться от полученного из частотных измерений примерно на 2% (с учетом диффузии носителей). Значение скорости поверхностной рекомбинации, рассчитанное по формуле (1) при  $I_s = 4 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$ , составляет 25 м/с.

Предлагаемая методика не требует использования данных о коэффициенте диффузии и объемном времени жизни носителей и может быть полезной для определения скорости поверхностной рекомбинации при концентрациях электронов  $\sim 10^{20} - 10^{21} \text{ м}^{-3}$  с использованием излучений миллиметрового диапазона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Palais, O. Contactless measurement of bulk lifetime and surface recombination velocity in silicon wafers / O. Palais, A. Arcari // J. Appl. Phys. – 2003. – Vol. 93, – no. 8. – P. 4686–4690.

УДК 674.055:621.934:630.652

В. В. Чаевский, канд. физ.-мат. наук, доц.,

А. М. Романова, канд. пед. наук, доц.  
(БГТУ, г. Минск);

А. К. Кулешов, канд. физ.-мат. наук, зав. лаб.  
(БГУ, г. Минск);

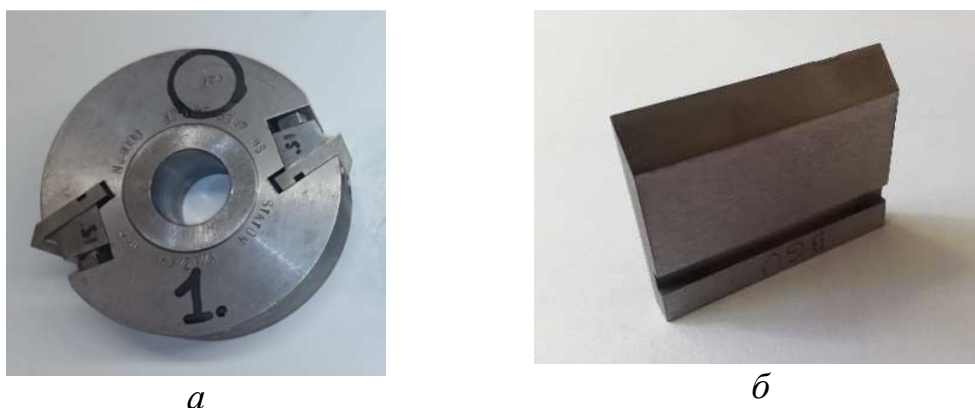
Štefan Barcák, Head of Department, PhD, full prof. Eng. MSc.  
(Technical University in Zvolen, Zvolen)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА НОЖЕЙ ПОСЛЕ КИБ ОБРАБОТКИ И МОЩНОСТИ РЕЗАНИЯ ТОРЦЕВОЙ ФРЕЗЫ**

Обработка материалов методом фрезерования является одной из наиболее распространенных технологических операций в деревообрабатывающей промышленности. Современное развитие технологии деревообработки требует применения износостойкого инструмента, выдерживающего большие динамические и вибрационные нагрузки в связи с использованием высоких скоростей резания. Результаты исследований [1] показали, что основной причиной абразивного износа лезвия ножа фрезы при обработке древесины является трение поверхности лезвия ножа с древесиной. Кроме того, на период стойкости инструмента значительно влияют его геометрия и кинематические параметры резания [2, 3]. Установлено, что одним из наиболее эффективных способов обработки поверхности лезвий ножей фрезерного инструмента с целью сохранения остроты режущей кромки лезвия является метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ), с помощью которого сформированные покрытия увеличивают период стойкости инструмента [4]. Поэтому целью работы было исследование влияния КИБ обработки лезвий ножей на износостойкость ножей фрезы и ее мощность резания.

Для целей эксперимента были использованы образцы черенков дуба (*Quercus robur* L.) со средним возрастом 95 лет. Пиломатериал толщиной 30 мм был получен в Техническом университете (ТУ) в Зволене (Словацкая Республика). После сушки в печи при влажности 8% пиломатериал был разрезан на заготовки размером: толщина – 25 мм, ширина – 100 мм, длина – 750 мм. Плоское фрезерование образцов проводилось на фрезерном станке ZDS-2 производства Liptovské Strojárne (Словацкая Республика). В качестве инструмента использовалась фрезерная головка производства Staton (фирма Turany, Словацкая Республика), позволяющая зажимать два ножа (рисунок 1, а). Один нож был зажат только для динамической балансировки инст-

румента и не менялся во время экспериментальных измерений. Исследуемые ножи (рисунок 1, б) из инструментальной стали HS 18-0-2-5 (ISO 4957:1999) поочередно зажимались так, чтобы был достигнут диаметр режущей окружности фрезерной головки  $D = 125$  мм. Технологические параметры плоского фрезерования составили: частота вращения фрезы  $n = 3000, 4000, 5000$  (об/мин); скорость подачи  $V_F = 6, 8, 10, 12, 14$  (м/мин); глубина резания  $a_e = 1, 2$  (мм).



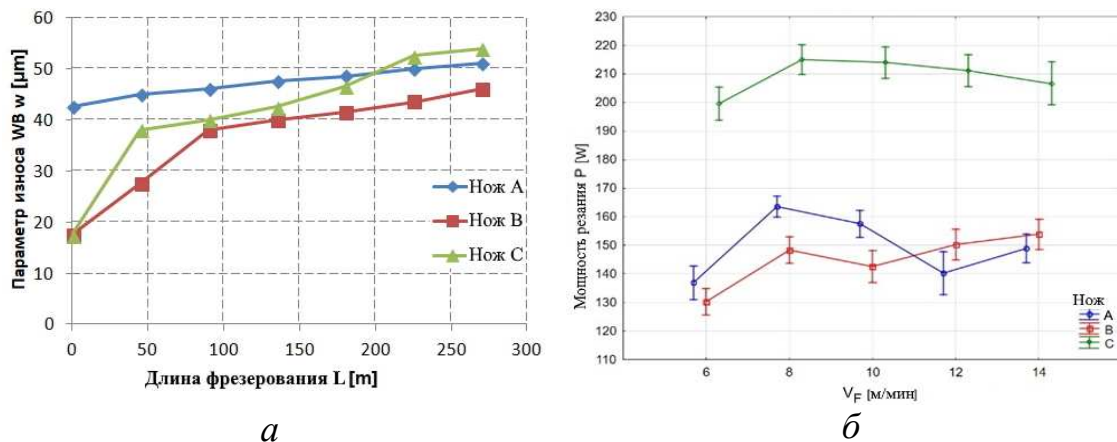
**Рисунок 1 - Фрезерная головка (а) и сменный нож фрезы (угол передней грани лезвия –  $15^\circ$ ) (б)**

Экспериментальные измерения мощности резания фрезы проводились на кафедре технологии производства и автоматизации ТУ в Зволене на оборудовании с помощью преобразователя частоты, оценивающего активную мощность двигателя без потерь и мощность двигателя по току, напряжению и КПД двигателя. Измерения износа лезвий ножей фрезы были проведены в лаборатории Ironal (предместье Banska Bystrica, г. Зволен) с помощью методики оценки параметра износа  $WB_W$  кромки лезвия ножа по уменьшению острия кромки лезвия ножа (смещению режущей кромки по оси угла заточки лезвия ножа), используя контурограф Hommel – Etamic C8000 Contour.

Фрезерные ножи *B* и *C* имели покрытие AlTiCrN и MoC, соответственно, в то время как нож *A* не имел дополнительной обработки поверхности. Покрытие ножа *B* было осаждено в Staton (Turany), покрытия ножа *C* – в лаборатории кафедры физики твердого тела БГУ совместно с кафедрой физики УО БГТУ.

Полученные зависимости значений параметра износа  $WB_W$  кромок лезвий ножей от длины фрезерования  $L$  (рисунок 2, а) подтвердили исследования [2, 5]. Лезвие ножа без обработки поверхности имело интенсивный износ без существенных изменений значения его величины. Наиболее интенсивный износ кромок лезвий ножей с покрытиями в древесине дуба наблюдался в начальном диапазоне длины фрезерования (0–150 м). За пределами этого диапазона износ всех лезвий ножей

имел достаточно монотонный характер с незначительным преобладанием износа лезвий ножей с MoC покрытием.



**Рисунок 2. Зависимость параметра износа  $WB_w$  кромок лезвий ножей фрезы от длины фрезерования  $L$  (а) ( $n = 5000$  об/мин;  $a_e = 1$  мм;  $V_F = (6, 8, 10, 12, 14)$  м/мин) и влияние скорости подачи  $V_F$  на мощность резания  $P$  фрезы (б) ( $n = 5000$  об/мин;  $a_e = 1$  мм;  $L = 11,25-270,00$  м)**

Мощность резания  $P$  для фрезы с ножом с MoC-покрытием была практически на 40% выше, чем для фрезы с необработанным ножом и с ножом с AlTiCrN-покрытием (рисунок 2, б).

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Beer, P. In situ examinations of the friction properties of chromium coated tools in contact with wet wood / P. Beer // Tribol. Lett., 2005. – Vol. 18, no 3. – pp. 373–376.
- 2 Bendikine, R. The influence of technical characteristics of wood milling tools on its wear performance / R. Bendikine, G. Keturakis // J. Wood Sci., 2017. – Vol. 63. – pp. 606–614.
- 3 Исследование физико-механических свойств ножей с ZrN-покрытиями для агрегатной обработки древесины сосны и ели / А. А. Гришкевич [и др.] // Труды БГТУ, 2013. – № 6: Физ.-мат. науки и информатика. – С. 63–65.
- 4 Эффективность применения TiN-, ZrN-, Ti–Zr–N- и Ti- покрытий на твердосплавных резцах при обработке ламинированных древесно-стружечных плит концевыми фрезами / А. А. Гришкевич [и др.] // Труды БГТУ, 2008. – Сер. VI, Физ.-мат. науки и информ. – Вып. XVI. – С. 52–54.
- 5 Examination of tools of different materials edge geometry for MDF milling / G. Kowaluk [at al.] // Eur. J. Wood Prod., 2009. – Vol. 67. – pp. 173–176.

И. И. Наркевич, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
Е. В. Фарафонтова, канд. физ.-мат. наук, ст. преп.  
(БГТУ, г. Минск)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХУРОВНЕВОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ РАСЧЕТА СТРУКТУРНЫХ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ НИЖЕ ТРОЙНОЙ ТОЧКИ**

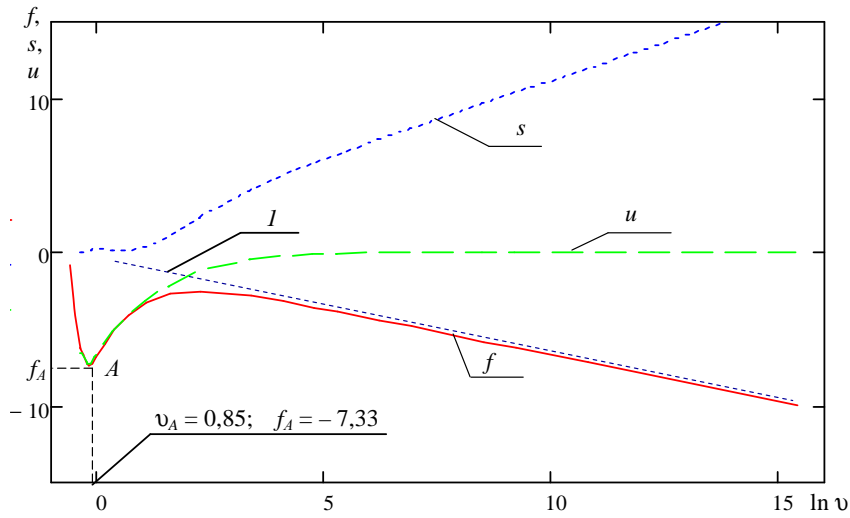
Ранее [1] была изложена методика расчета структурных и термодинамических характеристик кристаллических наночастиц разных размеров с использованием двухуровневого статистического метода [2]. В двухуровневом статистическом методе используются потенциалы  $\phi$  средних сил, которые в силу неоднородности системы являются функционалами от искомым полей чисел заполнения  $n_p$  ячеек, принадлежащих координационным сферам с номерами  $p$  ( $p = 1, 2, \dots, P$ ), образующих сферическую наночастицу. Центр координационных сфер совпадает с центром наночастицы.

Исходная система интегральных и алгебраических уравнений [1] для однородных кристаллических либо газообразных систем решалась с помощью модернизированной компьютерной программы, которая разработана с использованием системы компьютерного проектирования Mathcad. В результате проведены расчеты по численному построению изотерм внутренней энергии, энтропии и свободной энергии однородной молекулярной системы, которые позволили численно-аналитическим методом решить задачу по определению термодинамических параметров фазового перехода кристалл – газ для заданных температур.

На рисунке 1 в полулогарифмических координатах приведены изотермы свободной энергии  $f$ , энтропии  $s$  и внутренней энергии  $u$ , приходящихся на одну частицу (атом или молекулу) исследуемой однородной системы при заданной температуре  $\theta = 0,6$ , которая относится к температуре ниже тройной точки.

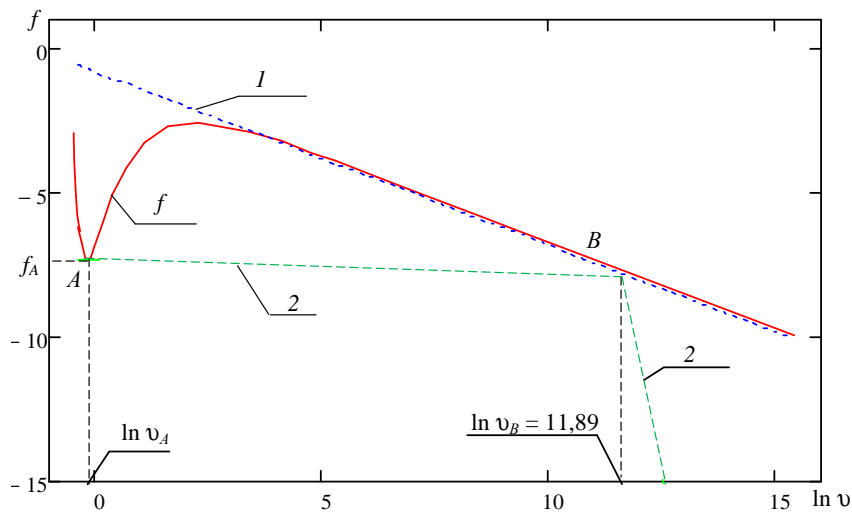
Из рисунка 1 видно, что рассчитанная изотерма свободной энергии  $f$  реальной газообразной фазы при объемах  $v$ , соответствующих условию  $\ln v > 5$ , достаточно точно совпадает с изотермой идеального газа (прямая 1). Это позволяет записать аналитическое уравнение для общей касательной к изотерме свободной энергии в переменных  $f - v$ , определяющей параметры сосуществующих однородных фаз (кри-

сталлической – точка  $A$  на рисунках 1 и 2, а также газообразной – точка  $B$  на рисунке 2).



$I$  – изотерма свободной энергии идеального газа

**Рисунок 1 - Рассчитанные изотермы свободной энергии  $f$ , энтропии  $s$  и внутренней энергии  $u$ , приходящихся на одну частицу (атом или молекулу), при температуре  $\theta = 0,6$**



$I$  – изотерма свободной энергии идеального газа;  $2$  – общая касательная в полулогарифмических координатах для фазового перехода кристалл–газ

**Рисунок 2 - Изотерма свободной энергии  $f$ , приходящейся на одну частицу (атом или молекулу), при температуре  $\theta = 0,6$**

Запишем уравнение для прямой 1, которое с достаточной точностью аппроксимирует рассматриваемую изотерму свободной энергии  $f$  в области  $\ln v > 5$  и уравнение общей касательной к рассчитанной изотерме  $f$ , проходящей через точку  $A$  с известными координатами ( $f_A = -7,33, v_A = 0,85$ ):

$$f_{\text{св}} \approx -(0,80 + \theta \ln v), \quad f_{\text{кас}} = k(v - v_A) + f_A. \quad (1)$$

Коэффициент  $k$  и молекулярный объем  $v_B$  находим, решая систему уравнений, определяющую положение точки  $B$  в переменных  $f - v$ , как точки касания общей касательной  $f_{\text{кас}}$  к газообразной ветви изотермы  $f_{\text{св}}$ :

$$k = \left. \frac{df_{\text{св}}}{dv} \right|_{v=v_B} = -\frac{\theta}{v_B}, \quad k(v_B - v_A) + f_A = -(0,80 + \theta \ln v_B). \quad (2)$$

Поскольку  $v_B \gg v_A$ , то из уравнения (2), с учетом выражения для  $k$ , следует, что  $f_A - \theta = -(0,80 + \theta \ln v)$ . Тогда

$$\ln v_B = (\theta - 0,80 - f_A) / \theta. \quad (3)$$

При температуре  $\theta = 0,6$  получим

$$\ln v_B = (0,60 - 0,80 + 7,33) / 0,60 \approx 11,89.$$

Общая касательная, записанная в полулогарифмических координатах ( $f_{\text{кас}} = k(e^x - v_A) + f_A$ , где  $x = \ln v$ ) изображена пунктирной линией 2 на рисунке 2.

Полученные параметры фазового перехода кристалл–газ позволяют приступить к определению вариационным методом равновесного радиального профиля средней плотности для сферической кристаллической наночастицы, находящейся в равновесии с разреженной газообразной средой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Наркевич, И. И. Разработка компьютерной программы для расчета структурных и термодинамических характеристик кристаллических наночастиц разных размеров / И. И. Наркевич, Е. В. Фарафонтова // Труды БГТУ. - 2019. - № 2 (224): Сер. 3: Физ.-мат. науки и информатика. - С. 34–39.

2. Наркевич, И. И. Двухуровневый статистический метод описания неоднородных систем / И. И. Наркевич // Нордерштедт: LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2019. - 114 с.



УДК 536.758

И. И. Наркевич, д-р физ.-мат. наук, проф. (БГТУ, г. Минск);  
А. Цях, д-р физ.-мат. наук, проф. (ИФХ Польской АН, г. Варшава);  
О. В. Пацаган, д-р физ.-мат. наук, вед. научн. сотрудник  
(ИФКС НАН Украины, г. Львов)

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРЕДСКАЗАННОГО БРАЗОВСКИМ ПЕРЕХОДА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗ ОДНОРОДНОГО СОСТОЯНИЯ В НЕОДНОРОДНОЕ

Ранее с помощью двухуровневого молекулярно-статистического метода [1] было проведено изучение микроструктуры и термодинамических характеристик однородных молекул ярких систем [2], а также одиночных сферических кристаллических наночастиц [3]. В данной работе разработанный для молекулярных систем двухуровневый статистический метод применен для описания структуры и термодинамических характеристик коллоидных систем с конкурирующими взаимодействиями притяжения и отталкивания. С этой целью проведены численные исследования функционала свободной энергии  $F\{n_l\}$  неоднородной коллоидной системы с использованием потенциала SALR (Short-range Attraction and Long-rang Repulsion) для описания взаимодействия между коллоидными частицами в водном растворе.

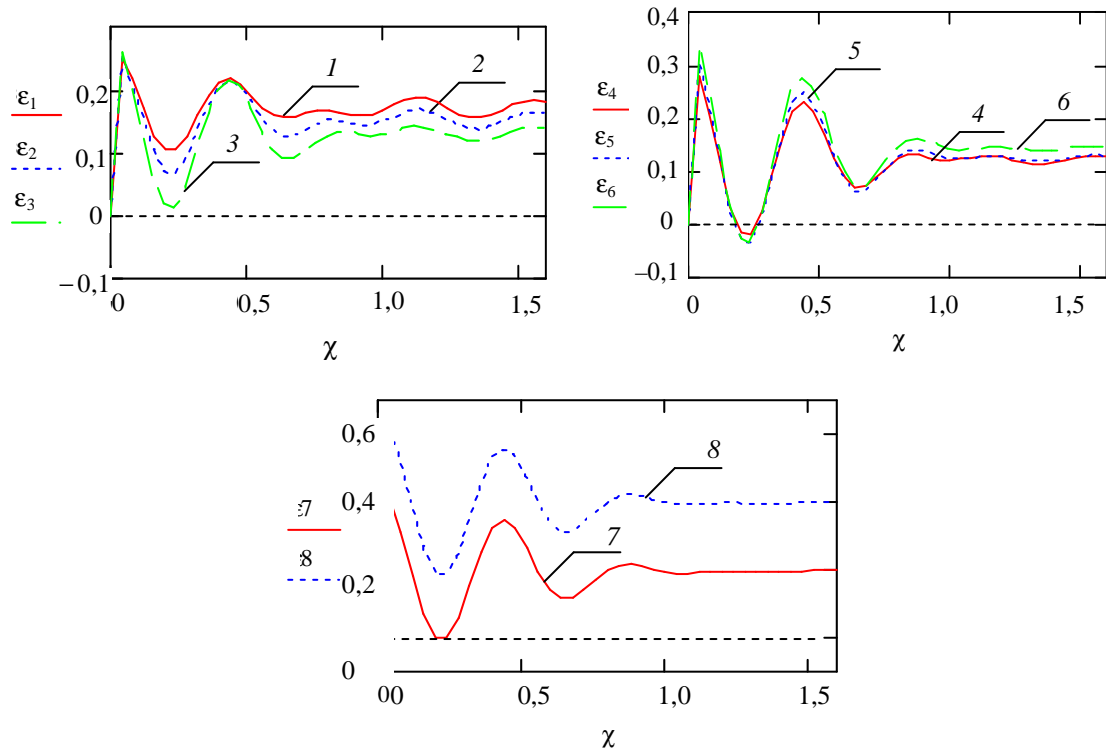
В результате численных расчетов установлено, что большой термодинамический функционал  $\Omega\{n_l\} = F\{n_l\} - \mu \sum n_l$  таких систем в состоянии равновесия в соответствующей области термодинамических параметров имеет несколько минимумов, соответствующих разным значениям волновых чисел  $\chi$  в системе с одномерным гармоническим, т. е. неоднородным, распределением плотности. Для одного из волновых чисел, соответствующего минимуму функционала  $\Omega\{n_l\}$  значение  $\Omega\{n_l\}$  функционала меньше, чем для однородного изотропного состояния ( $\chi = 0$ ). В расчетах использовался потенциал SALR в виде суммы двух членов: потенциала Леннард-Джонса и экранированного потенциала Кулона, которые записывались в безразмерной форме ( $A = 1,27$ ;  $\alpha = 0,5$ ):

$$U(r) = 4(r^{-12} - r^{-6}) + Ar^{-1} \exp\{-\alpha r\}. \quad (1)$$

Здесь и далее расстояние  $r$  и потенциал  $U(r)$  рассчитываются соответственно в единицах линейного ( $\sigma$ ) и энергетического ( $\epsilon$ ) параметров потенциала Леннард-Джонса.

На рисунке 1 приведены графики зависимостей относительной

вариации  $\varepsilon_{\Omega} = \Delta\Omega\{n_p\} / |\Omega(n)|$  функционала  $\Omega\{n_p\} = F\{n_p\} - \mu\sum n_p$  от волнового числа  $\chi = 2\pi / \lambda$  для разных значений средней концентрации  $n$  коллоидной системы при безразмерной температуре  $\theta = 5$ . В расчетах амплитуда  $B$  гармонической неоднородности поля чисел заполнения  $n_p = n + B\cos(\chi x_p)$  с волновым числом  $\chi$  принималась равной 10% от средней концентрации  $n$ .



**Рисунок 1 - Зависимости вариации  $\varepsilon_{\Omega}$  функционала  $\Omega$  от волнового числа  $\chi$  при температуре  $\theta = 5$  для разных значений средней концентрации  $n$ , равной числам заполнения ячеек гексагональной решетки с параметрами  $a = b = c = 1$  в единицах линейного параметра  $\sigma$  потенциала Леннард-Джонса: 1 –  $n = 0,25, B = 0,025$ ; 2 –  $n = 0,30, B = 0,03$ ; 3 –  $n = 0,40, B = 0,04$ ; 4 –  $n = 0,50, B = 0,05$ ; 5 –  $n = 0,60, B = 0,06$ ; 6 –  $n = 0,70, B = 0,07$ ; 7 –  $n = 0,80, B = 0,08$ ; 8 –  $n = 0,90, B = 0,09$**

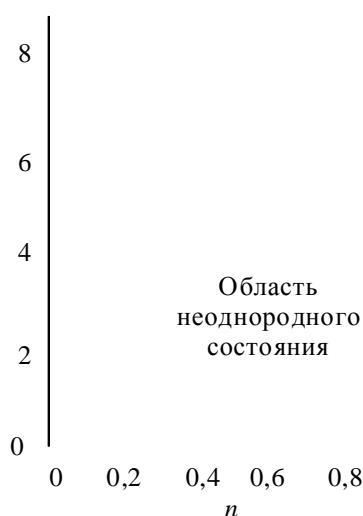
Из рисунка 1 видно, что положения двух первых минимумов с волновыми числами  $\chi_1$  и  $\chi_2$  практически не зависят от средней концентрации частиц коллоидной системы ( $\chi_1 \approx 0,22$ ;  $\lambda_1 \approx 28,5$ ;  $\chi_2 \approx 0,66$ ;  $\lambda_2 \approx 9,5$ ). Расчеты показывают, что их значения зависят от радиуса  $R$  сферы, определяющей область, на которую распространяется действие сил отталкивания между коллоидными частицами.

Из рисунка 1 также видно, что гармоническая неоднородность поля плотности с волновым числом  $\chi_1$  и длиной волны  $\lambda_1$  при увеличении концентрации  $n$  приводит к уменьшению значения функционала

$\varepsilon_{\Omega}$  в точке минимума.

В результате коллоидная система с мезоскопическими неоднородностями  $\lambda_1$  оказывается термодинамически более устойчивой в интервале концентрации  $n$  от  $n_1 \approx 0,42$  до  $n_2 \approx 0,81$  по сравнению с однородной системой.

Аналогичные расчеты при других температурах позволили построить теоретическую фазовую диаграмму температура  $\theta$  – плотность  $\rho$  (рисунок 2,  $\rho = n / \omega$ ) для перехода системы из однородного изотропного состояния в неоднородное состояние.



**Рисунок 2 - Фазовая диаграмма перехода коллоидного раствора из однородного состояния в неоднородное состояние с одномерным гармоническим распределением плотности с длиной волны  $\lambda_1 = 2\pi / \chi_1 \approx 28$  (в единицах линейного параметра  $\sigma$  потенциала Леннард-Джонса)**

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Наркевич, И. И. Двухуровневый статистический метод описания неоднородных систем / И. И. Наркевич // Нордерштедт: LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2019. - 114 с.

2. Наркевич, И. И. Статистическое обоснование предсказанного Бразовским перехода термодинамической системы из однородного состояния в неоднородное / И. И. Наркевич // Труды БГТУ. - 2019. - № 2 (224): Сер. 3: Физ.-мат. науки и информатика. - С. 28–33.

3. Наркевич, И. И. Разработка компьютерной программы для расчета структурных и термодинамических характеристик кристаллических наночастиц разных размеров / И. И. Наркевич, Е. В. Фарафонтова // Труды БГТУ. - 2019. - № 2 (224): Сер. 3: Физ.-мат. науки и информатика. - С. 34–39.

Д.П. Бектурсынова, стажёр-преподаватель  
(Нукусский государственный педагогический институт,  
г.Нукус, Республика Узбекистан)

## РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ПОЛОВИННОГО ДЕЛЕНИЯ В МАТЛАВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ

Задача нахождения корней нелинейных уравнений встречается в различных областях научно-технических исследований. Проблема формулируется следующим образом. Пусть дано нелинейное уравнение

$$f(x) = 0, \quad (1)$$

где функция  $f(x)$  определена и непрерывна в некотором интервале  $a < x < b$  и в этом интервале необходимо исследовать функцию  $f(x)$  и найти значение  $x_0$ , при котором  $f(x_0)$  равно или весьма мало отличается от нуля. Функция  $f(x)$  может быть задана в виде алгебраического многочлена или трансцендентной функции (тогда ей соответствует алгебраическое или трансцендентное уравнение) [3]. Нахождение точных значений корней возможно, как правило, только в исключительных случаях. Поэтому большое значение имеют методы приближенного решения уравнения с заданной точностью. При этом решение задачи можно разбить на два этапа:

1) отделение корней т.е выделение промежутков внутри которых содержится только один корень уравнения;

2) вычисление корня, принадлежащего выделенному промежутку с заданной точностью.

Решение задачи отделения корней для непрерывной функции основано на том, что, если функция на концах отрезка  $[a, b]$  имеет значения разных знаков, то внутри этого отрезка функция проходит через нуль, т. е. содержится корень уравнения. Таким образом, чтобы произвести отделение корней необходимо разбить область предполагаемого нахождения корней на равные отрезки длиной  $h$  и вычислить значение функции на концах отрезка. Если будет выполняться условие  $f(x) \cdot f(x + h) \leq 0$ , то корень внутри отрезка  $[x, x + h]$ . Величина шага разбиения подбирается интуитивно; при большом шаге разбиения возможно пропустить корень; при маленьком – увеличивается время вычислений.

Рассмотрим самый простой и надёжный метод нахождения корня уравнения на заданном отрезке, он называется методом половинного деления. Все методы предполагают, что предварительно произведе-

дено отделение корней и на отрезке находится только один корень.

Метод половинного деления состоит в том, что мы уменьшаем длину отрезка так, что корень остается внутри отрезка; процесс продолжается до тех пор, пока длина отрезка не станет меньше заданной точности. Уменьшение длины отрезка производится самым естественным образом: делением отрезка пополам и выбором той половины, внутри которой находится корень (т.е. на концах которой функция имеет разный знак.)

Заметим, что метод половинного деления легко реализуется на электронных вычислительных машинах. Программа вычисления составляется так, чтобы машина находила значение правой части уравнения (1) в середине каждого из отрезков  $[a_n, b_n]$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) и выбирала соответствующую половину его [3].

Система Matlab обладает большими возможностями программирования и комплексной визуализации результатов инженерных расчетов и научных исследований. В этой связи покажем применение возможностей Matlab в решении нелинейных уравнений. Сначала, программы, реализующие какой-либо численный метод, необходимо записывать в М-файл. Для наглядности рассмотрим следующий пример.

**Пример.** Дано трансцендентное уравнение:

$$f(x) \equiv 4 - e^x - 2x^2 = 0 \quad (2)$$

Имеем следующее:

$$f(x) = 4 - e^x - 2x^2$$

$$f'(x) = -e^x - 4x$$

После несколько вычислений, выясняем, что корни уравнения заключены в промежутках  $[-2; -1]$  и  $[0; 1]$ . Теперь, методом половинного деления будем найти положительный корень уравнения, который заключен в промежутке  $[0; 1]$ . Для этого запишем следующий код программы в Matlab (М-файл):

```
clc;
clear;
    % Основные условия
f=@(x) 4-exp(x)-2*x^2;    %это искомая функция
a=0;
b=1;
e=0.0000001;
    % Основной цикл
while abs(b-a)>e
    c=(b+a)/2;
    if sign(f(c))==sign(f(a))
```

```

    a=c;
else
    b=c;
end
end
disp(['Ответ x=' num2str(c,8)]);

```

В окне команд появляются после нажатия кнопки выполнить значение корня данного уравнения.

Результат вычисления:

Ответ x=0.88677019

Однако задача решения нелинейного уравнения в системе Matlab может быть решена и следующим образом. Вначале необходимо построить график функции  $f(x)$  на заданном интервале и убедиться в существовании корня или нескольких корней. Затем применить программы поиска корней. Если существует один корень и график  $f(x)$  пересекает ось  $Ox$ , то можно применить программу `fzero` [1]. Алгоритм, реализованный ею, представляет собой комбинацию хорошо известного метода половинного деления, метода секущих и метода обратной квадратичной интерполяции [2].

Теперь, с помощью программы `fzero` решаем задачу (2):

```
>> x = fzero( ' (4.0-exp(x)-2.0*x*x) ', [0.0 1.0] )
```

Результат решения:

x =

0.8868

Как видно из результатов, используя код программы, записанный в М-файл, который реализует метод половинного деления в Matlab, может быть получено решение с высокой точностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дашченко А.Ф., Кириллов В.Х., Коломиец Л.В., Оробей В.Ф. Matlab в инженерных и научных расчетах. – Одесса: Астропринт, 2003.
2. Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. Matlab 7: программирование, численные методы – СПб. : БХВ-Петербург, 2005.
3. Киреев В.И., Пантелеев А. В. Численные методы в примерах и задачах: Учебное пособие - 3-е изд. стер. – М.: Высшая школа, 2008.

Д.Д. Фугаров, канд. техн. наук, доц.;  
А.Ю. Полуян, канд. техн. наук, доц.;  
О.А. Пурчина, ст. преп.  
(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, РФ)

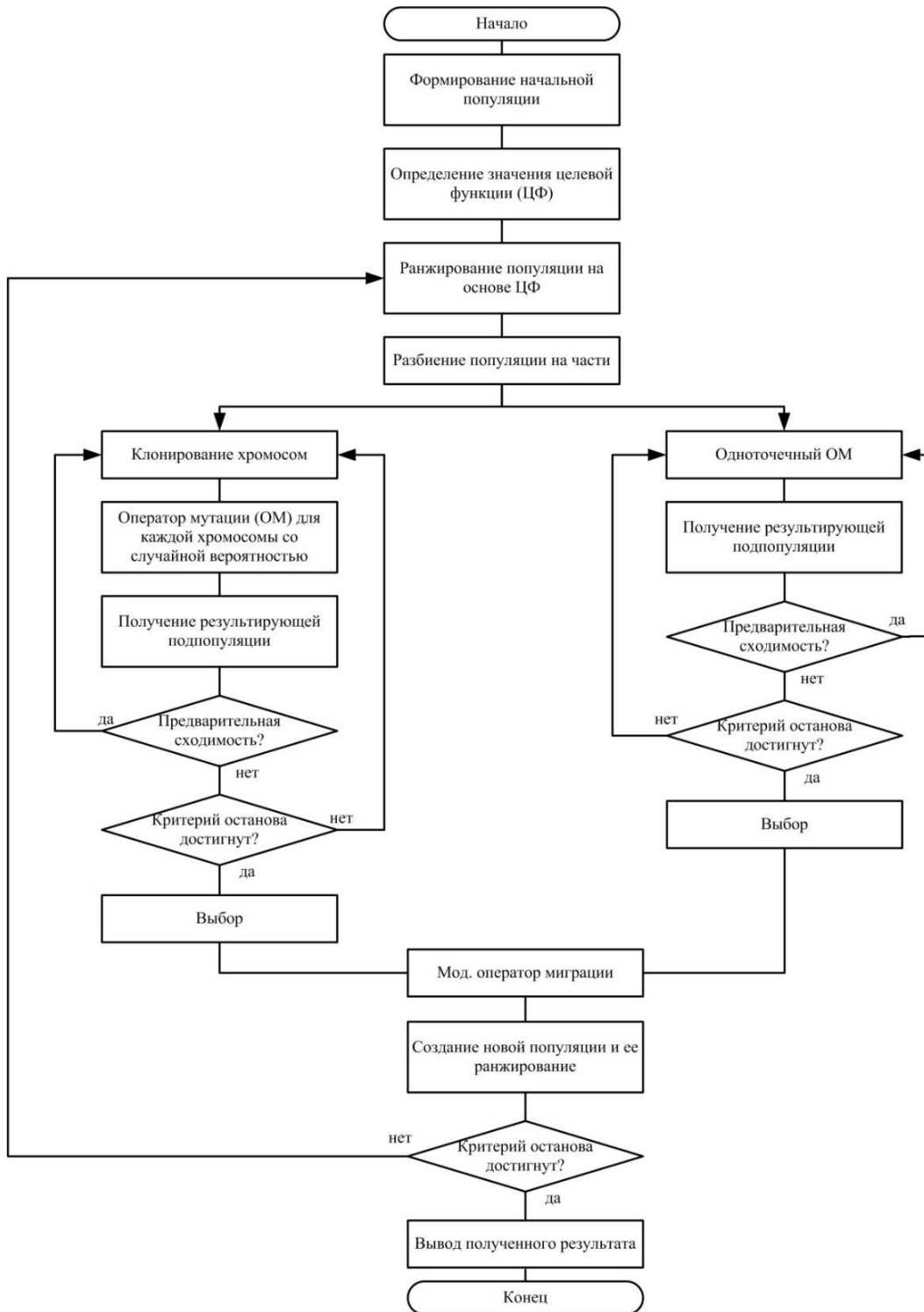
## **БИОНИЧЕСКИЕ И ИММУННЫЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕЧЕТКО СФОРМУЛИРОВАННЫХ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ**

В настоящее время одними из наиболее востребованных являются информационные ресурсы. В условиях нестабильной работы телекоммуникационных сетей передача ряда данных некоторым абонентам может быть не целесообразна и перенесена на более поздний срок, либо возможно отменена. Наличие четких ограничений в большинстве современных оптимизационных задач не только сужает область поиска, но и вынуждает принимать в качестве допустимых решения, в структуре которых имеются фрагменты, обуславливающие использование нерентабельных средств доставки. Таким образом, для принятия адекватных решений в подобных ситуациях необходимы алгоритмы, обеспечивающие переход от качественных характеристик к количественным и наоборот [1].

Моделирование передачи информации подразумевает, кроме прочего, использование статической и динамической постановок транспортной задачи. Статическая постановка допустима, например, в ситуациях незначительных изменений параметров, влияющих на реализацию решения задачи, а также отсутствия кратковременных пиковых нагрузок. Динамическая постановка возникает при необходимости корректировки процесса реализации полученного решения, т.е. адаптации процесса реализации решения к трудно формализуемым факторам реального мира. Динамичность подразумевает, в том числе, и переоценку значимости передаваемых данных. Динамичность процесса распределения подразумевает необходимость вариативного описания параметров рассматриваемой оптимизационной задачи [2].

На рисунке 1 показан модифицированный искусственный иммунный алгоритм (ИИА), основанный на «теории опасности» [3].

Алгоритм делит популяцию на две подпопуляции с наилучшими и худшими решениями (зона опасности). Для первой выполняется клонирование подпопуляции. Затем к полученным клоном потомкам применяется оператор мутации с заданной вероятностью. Родитель клонов остается неизменным [3]. Для второй применяется алгоритм одноточечной мутации со случайной вероятностью.



**Рисунок 1 – Схема модифицированного ИИА**

Подпопуляция производит сортировку и ранжирование. Все полученные хромосомы формирует новую популяцию. Затем происходит обмен популяциями, сортировка и ранжирование. Сигнал опасности, может быть интерпретирован как полученная информация, о значениях целевой функции (набор «плохих» решений попадающих в зо-



ну опасности). Следовательно, стимуляции подвергаются те решения, которые попадают в зону опасности [4]. Принимая эту идею, можно определить сигнал опасности как идентификатор интереса пользователя. Учитывая это определение, можно представлять различные сценарии, в которых может быть полезен сигнал опасности.

Использование методов альтернативной адаптации позволяет интеллектуализировать управление работой алгоритма решения задачи оптимизации (в данном случае генетического алгоритма) и улучшать качество решений вплоть до 20%. Данный подход позволяет задавать специфические альтернативы управления в зависимости от алгоритма решения задачи оптимизации [5]. Изменение адаптации, реализуемое за счет уменьшения/увеличения числа состояний соответствующих каждой альтернативе, позволяет управлять инерционностью иммунного ответа, что позволяет

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Chernyshev Y O et al 2015 Swarm-intelligence-based algorithm of connections permutation between pins. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology* 80(1) 13-20

2. Фугаров Д.Д. Возможности развития технологии блокчейн с использованием новейших алгоритмов / Д.Д. Фугаров, В.В. Нестерчук, А.А. Питиримова, О.В. Смирнова, Д.А. Онышко // Глобальный научный потенциал. 2018. № 4 (85). С. 86-89.

3. Полуян А.Ю. Применение бионических и иммунных алгоритмов для решения нечетко сформулированных задач транспортной маршрутизации / А.Ю. Полуян, Д.Ю. Паскевич, О.А. Пурчина, Д.Д. Фугаров, Д.А. Онышко *Наука и бизнес: пути развития*. 2018. № 10 (88). С. 45-49.

4. Fugarov D.D., Gerasimenko Y.Y. et al 2018 Methods for Revealing hidden Failures of Automation System for Technological Processes in Oil and Gas Sector. *J. Phys. Conf. Ser* 1118 012055

5. Фугаров Д.Д. Выявление скрытых отказов в системах автоматизации технологических процессов нефтегазового комплекса / Д.Д. Фугаров, В.В. Нестерчук, М.В. Михайлюков, Д.А. Онышко // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2018. № 4. С. 92-97.

UDC: 378.091.315.7

Nasirova Sh. N.,  
Department of Informatics teaching methods  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;  
Amonov D.,  
Information Technology in Education, Graduate student;  
Makhmudova M. A.,  
Department of Informatics teaching methods, Senior teacher  
(Navoi State Pedagogical Institute, Uzbekistan)

## **PROFESSIONAL STUDIES BASED ON PROGRAMS THE IMPORTANCE OF PREPARATION FOR ACTION**

Special emphasis is placed on the widespread use of software-based pedagogical approaches in improving the quality and effectiveness of education in the world and supporting student learning.

Currently, the best universities in the world are very important for the effective organization of educational processes and the formation of professional skills of students, using the capabilities of systematic, applied and hardware software.

The education and upbringing system developed over the centuries reflects rich traditions in the development of a person with a high level of consciousness, thinking, worldview, moral qualities and life experience. It is based on these rich traditions of pedagogy at various stages of human development. However, the existing pedagogical traditions are not static, and the changes that occur in the social realm are dynamically and dialectically enriched by the progress made. This, in turn, will lead to new trends in pedagogical processes, activities and research[2].

Organize the educational process in our country on the basis of modern requirements. In particular, special attention is paid to training highly qualified specialists, including the introduction of information and communication technologies in higher education.

The strategy for further development of the Republic of Uzbekistan has been identified as an important priority "to further improve the system of continuous education, enhance the availability of quality education services, and continue the policy of training highly qualified personnel in line with the modern labor market needs." In this regard, it is necessary to improve the methodology of preparing future teachers for project-based and research-based vocational training on the basis of methodological approaches, and to develop professional competence in developing methods for assessing teacher-quality and level of readiness for professional activities[1].

Academics AA Abdukadirov, U.Sh. Begimkulov, F.Zakirova, J.A.Khamidov, O.Turakulov conducted research on the use of computer technologies in the educational process. Problems of effective use of information technologies in higher education system are studied in the scientific works of foreign scientists E.Backer, M.Ahmed, M.Camacho, N.Rizk, D. Wallace[3].

Prospective teachers should be aware of the following as they learn software:

- Analyze and allocate classroom teaching software to future teachers;
- Improvement of didactic provision of teaching of students in the field of pedagogical education based on the integration of mathematical, natural, scientific, general and professional subjects;
- Development of the model of methodological system of preparation of future teachers for professional activity;
- Students using an innovative programming language environment indicators of the development of professional competence and it is desirable to determine the criteria, mathematical and statistical processing of the results, and to make conclusions based on them [3].

The scientific-theoretical, scientific-methodological bases of perfection of methods of preparation of students of pedagogical education on professional activity on the basis of software are reflected on the essence of the reforms carried out in the country in the field of education, based on verses.

Methods of teaching future teachers theoretical and practical teaching of theoretical and practical disciplines, such as lectures, laboratory work, demonstration experiments, problem solving, control, consultation, independent work using teaching tools implementation[4].

The learning process is structured into lectures, practical and laboratory work, independent learning, and control tasks. Effective organization of these types of courses puts a number of tasks on the teacher. Because today's educator must organize lessons with modern information technology. It would be advisable to use the following forms and tools:

- ✓ the use of pedagogical software tools, such as multimedia lectures, e-books, e-libraries, e-lectures, open-source resources and educational sites, mainly because the teacher is active in lectures.
- ✓ practical exercises, problem solving, events and processes mathematical modeling, mathematical modeling to use software packages and programming languages;

✓ use virtual labs, animations, interactive models in the classroom;

✓ independent educational and pedagogical programs in the club the ability to use Microsoft Office programs together with tools, mathematical software packages (Matlab, Matchad, Maple, Math), programming languages;

✓ Use of Power Point, Prezi, CourseLab programs during the workshop sessions

✓ and test-based pedagogical software tools Using (iSpring.Suite, MyTest)

Electronic calendar, electronic diary, e-learning and e-lesson analysis software have been developed and tested to improve the methodology of preparing students for pedagogical education based on software [5].

At the end of the course, students need to control their knowledge. The form of control may be: polling; writing work; test; creating and solving crosswords; writing reviews for scientific articles; Writing an abstract.

In accordance with modern requirements, training of highly qualified personnel and implementation of training based on pedagogical and information technologies plays an important role in improving the quality and effectiveness of education. They plan and implement the learning process to ensure that they achieve their goals. Students are affected by visual materials. The percentage of successful training depends on the design, organization and implementation of the learning process.

## REFERENCES

1. Strategy of Action for the five priority areas of development of the Republic of Uzbekistan in 2017 - 2021. Collection of Laws of the Republic of Uzbekistan, 2017, № 7.

2. Abdukadirov AA, Haitov AG, Shodiev RR "Information technologies". T. "Teacher". 2002.

3. NosirovaSh.N., Artykov A., Makhmudova MA In the system of microclimate in the history of the observation. International Scientific and Technical Conference "Perspective Information Technology 2018", April 14-16, 2018 Samara, str. 1214-1217.

4. NosirovaSh.N., Mahmudova MA Proceedings of the 3rd Republican Conference on "Prospects for the Development of Science in the 21st Century and the Role of Innovation in it," 2019, April 30, 23-24

5. NosirovaSh.N., Mahmudova MA Republican scientific and technical conference "The role of information and communication technologies in innovative development of sectors of the economy", Tashkent, March 14-15, 2019, 516-518.

Nasirova Sh. N.,  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor  
(Navoi State Pedagogical Institute, Uzbekistan)  
Hojieva D., Mavlonov A., Gadoev H., teacher  
(Navoi city, Uzbekistan)

## **THE IMPORTANCE OF THE ONLY INFORMATION- EDUCATIONAL ENVIRONMENT IN EFFICIENCY EDUCATION**

The strategy of action for the further development of the Republic of Uzbekistan has been identified as a key priority "to further improve the system of continuous education, enhance the availability of quality education services, and continue the policy of training highly qualified personnel in line with the modern labor market needs." In this regard, improving the methodology of preparing teachers for design and designing and research activities based on computer technologies will facilitate the development of professional competence in developing methodologies for assessing pedagogical qualities and levels of professional training [1].

If an educational institution has the appropriate material and technical base and pedagogical potential, it is possible to create innovative technologies. Nowadays, the introduction of innovative technologies in the school system and their implementation are urgent. Improving the quality of education can be achieved through the creation of a unified information and educational environment by automating school management and informing the educational process [2].

Education information is not only about setting up computers for the school or connecting to the Internet, but also informing the school about the need to create, use and process large amounts of data in all areas of the school.

The information-learning environment enables the use of modern information technology achievements based on traditional school management approaches.

The system maintains personal files of employees and students with flexible search capabilities in the electronic archive, maintains electronic records for teachers and classrooms, e-class journals and e-logbooks for students and parents over the Internet. allows you to get quick information about homework.

Thus, it is possible to create a unique information and educational environment in the school, to facilitate the socialization of school leaders, including the real needs of the labor market by automating management and informing the educational process [3].

Objectives of creating an information-educational environment:

- Development of a mechanism to enhance the information and communication competences of participants in the educational process;
- introduction and progressive introduction of interactive learning into the new educational process based on information technology;
- regularly display news on the school website;
- Creation of a unified database containing information about the participants of the educational process;
- distance learning opportunities for teachers and students;
- Providing students with individual, teamwork and teamwork opportunities;
- The development of teachers' creative work and the promotion of student learning through active teaching methods and the use of updated teaching materials.

The use of information technology in teaching is as follows:

- as a way for students to learn about the world;
- as a source for further information on the topic;
- as a way of self-organizing and self-education of teachers and students;
- as an opportunity for a differentiated approach to the teacher;
- as a way to expand student learning individually.

Information resources and Internet services are used during the training:

- information sources (catalogs, media, libraries, encyclopedias ...);
- educational resources (e-books, self-study courses, software ...);
- Communication Services (email, chat rooms, newsgroups, forums), search services, multimedia tools.

Creating an informational learning environment in the school will improve the quality of education and provide the following opportunities [3]:

1. focusing on the integration of different areas of school work through informatization;
2. Creating a school information management system - moving to a qualitatively new level in the organization of student learning and education;
3. a description of approaches that will allow us to move to a new level of methodological implementation of the learning process;
4. Improvement of professional skills and training of teachers, increase of information culture of school teachers, which will help students to move to a qualitatively new level of organization and methodical mainten-

ance of educational process;

5. The use of information technology in student engagement helps to create a student-centered, highly-educated, highly-educated student with a high culture of information and competence.

As we build a new modern Uzbekistan, automated school systems are the basis for modern learning processes. The introduction of new information technologies in the organization of the educational process will allow the school administration to improve the work of students in accounting and teaching staff. The Information Learning Environment enables schools to store and process data, to quickly search and select according to criteria, and to generate different types of reports.

## REFERENCES

1. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated February 7, 2017 № PF-4947 "On the strategy of further development of the Republic of Uzbekistan".

2. The concept of implementation and development of information and communication technologies in the system of the Ministry of Higher and Secondary Special Education of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, 2013.

3. Nosirova Sh.N., Mahmudova M.A Development of students' interest in acquiring knowledge through computer programs Scientific and methodological journal "Teacher of continuous education" № 5 2019 Nukus - 2019, pp. 25-27.

4. Nasirova Sh.N., Mahmudova MA Improving the quality of education in systems thinking IV Mejdunarodnoy otkrytoy Conference Applications and technology”, Voronezh, May 23-25, 2019, pp. 77-279.

5. Makhmudova MA “Importance of the use of multimedia technologies in teaching the exact sciences.” Materials of the Republican scientific-theoretical and practical conference “Science and education - the intellectual mirror of the society”, 2016, devoted to the Year of Healthy Mother and Child Nukus 2016 December 7th.

Nasirova Sh.N.,  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor  
(Navoi State Pedagogical Institute, Uzbekistan);  
Nazarova S., Ruzieva G., Sherova G., teacher  
(Navoi city, Uzbekistan)

## **THE IMPORTANCE OF ELECTRONIC EDUCATION RESOURCES IN THE EFFECTIVENESS OF THE LESSON**

Based on the goals and requirements of the Decree of the President of the Republic of Uzbekistan “On the Strategy of Action for the Further Development of the Republic of Uzbekistan” (February 7, 2017, PF-4947) Reforms in the Lim system are aimed at the improvement of the national education system, the implementation of the “national model” in accordance with the world standards, and the enhancement of our spirituality. Special emphasis is also placed on eliminating serious shortcomings in the existing system of training through the development of close cooperation and mutually beneficial cooperation between the education system, science and industry [1].

Reforming the education system is aimed at building a new generation of educators with the highest professional culture, creative and social activity, and the ability to independently participate in public and political life. Modern pedagogical technologies play an important role in these tasks. Studying and applying pedagogical and information technologies is based on the need to improve the quality of education and training. The essence of pedagogical technology is the pedagogical process, which aims to accelerate learning, assimilate students and students, accelerate the process of learning, and guarantee positive results.

In modern times, the rise of scientific thinking, as well as scientific techniques, is taking place dramatically and intensively. Therefore, it is essential and essential for teachers to keep up with modern knowledge.

The use of a computer during the classroom provides new and unique opportunities for teachers and students to interact with interactive teaching materials. We need to be aware of modern programming languages for interactive tutorials created by the teacher, so that they can be readily accepted by students. Other computer training tools, such as projectors, electronic boards, increase the amount of information using visual aids, thus facilitating the use of classroom time [3].

Nowadays, the possibilities of modern programming languages - Delphi, Matlab, Matchad, Math, Maple, C - make the learning process qualitative. As a result, the effectiveness of the lesson will increase and



students' interest and attitudes will change.

Improving the quality of teaching depends on the use of new teaching methods. In the new teaching methods, the student must be constantly searching and moving, ie receiving, processing, and applying the knowledge gained to solve specific problems. The use of information technology in lectures, practice, labs, and independent forms of learning is quickly becoming effective. For example, the use of virtual stands in the laboratory classroom is the basis for the good quality of the training.

The incredible development of computers and software products opens up great opportunities for the use of information technology in education. Training materials can be made in the form of multimedia systems and can be made available to the public through computer networks and transmission facilities. The widespread introduction of computer technology into the education system requires revision of all types of training materials. Multimedia e-learning materials should be developed for each form of teaching.

Usually, information and communication technologies are rarely used in practical and laboratory studies. However, research in the field of teaching technologies shows that it is in these forms of learning that the resources for improving the quality of teaching are hidden. The fact is that, in traditional teaching methods, it is not always easy to engage the group and control their development. Electronic learning of textbooks allows you to study, read, edit, and record text, graphics, sound, and animated material on your computer screen.

The electronic form of the training material is connected to an existing local network, which allows for corporate decision-making and information sharing. Computer-based computer and software tools allow students to take a personalized approach to the topic studied, to form their own ideas and to increase their activity.

The teacher server is able to monitor and record each student's progress through the computer and how the tasks are handled.

Sharing a single information hyperlinks provides a creative, collaborative learning experience for students and teachers.

In order to organize such training, the teacher needs to have the knowledge and skills in e-resource development programs and the availability of technical tools to provide the user interface in the classroom.

Modern teaching technology is an integrated (whole, dependency) system in which students acquire theoretical knowledge, skills, and attitudes that are based on educational objectives. is a well-organized set of elements of pedagogical activity focused on education? [4]

As a result of the full use of e-learning resources in the learning

process, the following will be achieved:

1) they accept, understand, accumulate, but do not make a conscious, conscious recovery;

2) analyzes, compares, summarizes, and implements practical actions in direct collaboration with the teacher;

3) independently search for solutions to problems, independently identify ways and means of achieving expected results.

The higher the quality of e-learning resources made by modern programming tools, the more effective the learning process is. Knowledge of interactive teaching methods is a special form of communicative activity in which learners are involved in the learning process and have the opportunity to explain what they know and think.

Pedagogical collaboration between pupils and teachers in lessons using e-learning resources will encourage the student to remain indifferent, to think independently, to be creative, and to maintain a constant interest in science [10].

E-learning materials are guaranteed high quality and effectiveness in all forms of learning.

Expected benefits of new pedagogical technology in the education system, its benefits, and the principles of improving the effectiveness of the lesson. By placing online learning resources created using modern programming languages, students will be able to enrich their knowledge, improve their remembering, organize lessons, and improve their thinking. broadens the outlook, encourages students to work on themselves, teaches them to express and defend their own ideas.

## REFERENCES

1. Strategy of Action for the five priority areas of development of the Republic of Uzbekistan in 2017 - 2021. Collection of Laws of the Republic of Uzbekistan, 2017, No 7.

2. T. Turgunov, ZK Kusharov "The benefits and problems of multimedia tools in professional education". "Professional Development Road to Development", Collection of Articles, No. 8, T., 2006

3. NosirovaSh.N., Mahmudova M.A. Proceedings of the 3rd Republican Conference on "Prospects for the Development of Science in the 21st Century and the Role of Innovation in it," 2019, April 30, 23-24

4. NosirovaSh.N., Mahmudova M.A. Republican scientific and technical conference "The role of information and communication technologies in innovative development of sectors of the economy", Tashkent, March 14-15, 2019, 516-518.

**КОРРЕКТИРОВКА ПАРАМЕТРОВ УЗЛОВ ОБРАБОТКИ  
ДАНЫХ ИНФРАСТРУКТУР ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ ВХОДНОГО ТРАФИКА**

Автоматизированные системы управления на промышленных предприятиях нуждаются в оценивании [1]. Это оценивание должно быть связано с их сложной структурой. При этом, благодаря результатам внедрения возможно повышать производительность труда и качество производимой промышленным предприятием продукции. Перед внедрением системы управления необходимо произвести выбор готового решения либо разработку нового. При математическом моделировании происходит поиск оптимальной конфигурации системы, что целенаправленно формирует решение поставленных оптимизационных задач. Проводимый при оптимизационных процедурах анализ возможных вариантов решений по выбору конфигураций позволяет сосредоточиться на комплексных мероприятиях по улучшению производительности промышленного предприятия и отдельных его подсистем.

Различные сложные организации, такие как промышленные предприятия и вузы, могут быть интегрированы [2]. Взаимная интеграция позволяет этим организациям связанно развиваться и совершенствоваться. В получающихся при этом интегрированных структурах отсутствуют отличия от исходных в ключевых разнесенных точках. Но для обеспечения эффективной деятельности требуется производить модернизацию применяемых систем управления. Эти системы управления включают в свой состав большое количество разнотипных программно-аппаратных комплексов, в том числе, реализующих возможности информационного обеспечения функционирования промышленного предприятия.

На основе оперативной организационно-технической информации промышленных предприятий происходит выбор управленческих решений в условиях риска и ограничений на ресурсы [3]. Улучшение состояний технических объектов, производимое после сбора и обработки оперативной информации, влияет на фактическую реализацию производственных процессов. Идентификация информационной ситуации в отдельной подсистеме предприятия является одной из фаз многоступенчатых процессов поддержки принятия решений по управлению. Сложность организационных структур компенсируется спе-

специализированными автоматически производимыми процессами.

Средства мониторинга возможных рисков, их оценки и анализа, являются одним из наиболее важных элементов информационных систем управления [4]. Эти средства в современных условиях производят расчет рискованных показателей на основе больших информационных объемов. Поэтому к ним предъявляются особые требования по гарантопригодности. Управление рисками на промышленных предприятиях ориентировано на мониторинг рисков в предметной области и неразрывно связано со всеми этапами работы конкретного предприятия. Процесс принятия решений о возможных рисках происходит в режиме реального времени. Статистические показатели событий рисков оцениваются аналитически, по результатам моделирования, для возможности оценивания потерь от рискованных событий, поддержки информирования об изменениях параметров протекающих процессов.

Поэтому требуется подход для корректировки параметров узлов обработки данных инфраструктур промышленных предприятий при изменениях входного трафика в реальном времени.

Корректировка параметров компьютерных узлов для уменьшения затрат может предварительно происходить на основе моделей этих узлов [5]. Для компьютерных узлов часто используются модели систем массового обслуживания (СМО). Пусть известно, что в рассматриваемое время в компьютерном узле имеется  $K$  обслуживающих каналов и буфер емкостью  $N$  заявок, интенсивность входного потока заявок составляет  $\lambda$ , производительность их обработки –  $\mu$ . Тогда моделью узла является СМО типа  $M/M/K/N$ . Для СМО типа  $M/M/K/N$  известны аналитические соотношения расчета важнейших системных характеристик, к которым можно отнести вероятность простоя  $p_0$ , вероятность отказа  $p_{отк}$ , среднее число заявок в очереди  $L_q$ , среднее число заявок в системе  $L_s$ , среднее время пребывания заявки в очереди  $T_q$ , среднее время пребывания заявки в системе  $T_s$ . На основании этих системных характеристик строится целевая функция:

$$F_{СМО}(K, N, \lambda, \mu) = C_0 p_0 + C_{отк} p_{отк} + C_{тс} T_s. \quad (1)$$

В (1) – стоимость затрат на простой системы,  $C_{отк}$  – стоимость затрат на отказ,  $C_{тс}$  – стоимость затрат на время нахождения заявки в системе. Корректировка параметров узла затрагивает кортеж  $\langle K, N, \mu \rangle$ . В большинстве случаев доступна для регулирования величина производительности  $\mu$ . Поэтому ставится оптимизационная задача:

$$\arg \min_{\mu} F_{СМО}(K, N, \lambda, \mu). \quad (2)$$

Для решения задачи (2) используется оценка вероятностей гипотез о состоянии входного трафика компьютерного узла и последующая корректировка производительности  $\mu$  в директивном порядке

ЛПР (лицом, принимающим решения). Проверяются две гипотезы о трафике:  $H_0 = \{\text{трафик без возмущений}\}$ ,  $H_1 = \{\text{трафик возмущен}\}$ . Вероятности гипотез определяются по оценкам условных вероятностей гипотез  $P(H_0|H_0)$ ,  $P(H_0|H_1)$ ,  $P(H_1|H_0)$ ,  $P(H_1|H_1)$ . Расчет условных вероятностей гипотез производится с помощью методов непараметрической статистики – простого критерия знаков и критерия Уилкоксона, примененных к результатам моделирования двух СМО типа М/М/К/Н. Для одной СМО расчеты производятся при невозмущенной интенсивности  $\lambda = \lambda^0, \lambda^0, \dots$ , для другой – с возмущенными  $\lambda = \lambda^1, \lambda^2, \dots$ . Построенная система поддержки принятия решений позволяет ЛПР производить аналитическое моделирование СМО и оценку условных вероятностей гипотез для последующей корректировки узловой производительности  $\mu$ .

Полученный результат позволяет производить корректировку параметров узлов обработки данных инфраструктур промышленных предприятий, что дает возможность компенсировать потери от рискованных событий при изменениях входного трафика в реальном времени, и снизить, таким образом затраты на контроль и устранение последствий возникших негативных событий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Клокотов И.Ю. Использование автоматизированных систем управления на промышленных предприятиях и в производстве / И.Ю.Клокотов // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral», №3, 2019. С. 304–312.
2. Харин А.А. Взаимодействие вузов и промышленных предприятий на основе применения автоматизированных систем обработки информации / А.А.Харин // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки, №3 (121), 2011. С. 78–83.
3. Коваленко В.В. Модель системы информационной поддержки принятия решений в условиях ограниченности ресурсов на крупном промышленном предприятии / В.В.Коваленко, А.Н.Иванченко // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки, №2 (198), 2018. С. 33–39.
4. Хачатурян А.А. Роль информационных технологий в управлении рисками на промышленных предприятиях / А.А.Хачатурян, В.А.Синько // Вестник Московского университета имени С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление, №4 (6), 2013. С. 76–82.
5. Ткаченко К.С. Поточно-структурный подход к построению распределенных сред систем мониторинга / К.С.Ткаченко, И.А.Скатков // Системы контроля окружающей среды. 2017. № 9 (29). С. 41–44.

Саидов Ч.С., д-р физ-мат. наук, проф.;  
Халияров Ж.Х., преп.; Муминов Б.С., преп.  
(ТерГУ, г. Термез, Узбекистан)

## РАСЧЕТ ТЕНЗОРА КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ГЭП ДЛЯ УЗЛОВ РЕШЕТОК $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

Тензоры кристаллического ГЭП (градиент электрического поля) в катионных и анионных узлах решеток  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  рассчитывались в приближении модели точечных зарядов. Решетка  $YBa_2Cu_3O_7$  записывалась в виде  $YBa_2Cu(1)Cu(2)_2O(1)_2O(2)_2O(3)_2O(4)$  а решетка  $YBa_2Cu_3O_6$  в виде  $YBa_2Cu(1)Cu(2)_2O(1)_2O(2)_2O(3)_2$ .

Компоненты тензоров для  $n$ -узла записывались в виде

$$V_{gpkn} = \sum_i e_k^* U_{gpkn}$$

$$V_{gpkn} = \sum_i \frac{(3(g_{ikn}^2 / r_{ikn}^2) - 1)}{r_{ikn}^5} \quad (1)$$

$$V_{gpkn} = \sum_i \frac{3g_{ikn} p_{ikp}}{r_{ikp}^5}$$

где  $k$  – индекс суммирования по подрешеткам ( $k=1-Y, k=2-Ba, k=3-Cu(1), k=4-Cu(2), k=5-O(1), k=6-O(2), k=7-O(3), k=8-O(4)$ )  $e_k^*$  – эффективный заряд ионов,  $k$  – подрешетки,  $i$  – индекс суммирования по узлам внутри подрешетки,  $r_{ikn}$  – расстояние от  $i$ -узла  $k$  – подрешетки до узла  $n$  – подрешетки,  $gp$  – декартовы координаты.

Для расчета компонент тензора ГЭП решетки  $YBa_2Cu_3O_6$  структурные параметры были взяты из работы [1], а для расчета тензора ГЭП решетки  $YBa_2Cu_3O_7$  – из работы [1]. Часть расчетов была сделана с использованием структурных данных авторов [2]. Для каждого конкретного случая мы указываем источник структурных данных. Отметим лишь, что результаты расчетов с использованием различных структурных данных весьма близки.

Решеточные суммы  $U_{gg}$  и  $U_{gp}$  рассчитывались на ЭВМ, суммирование проводилось внутри сферы радиуса  $30 \text{ \AA}$ . Тензоры решеточных сумм от всех подрешеток оказались диагональными в кристаллографических осях. Главная компонента тензора кристаллического ГЭП  $V_{zscr} = eq_{cr}$  определялась после подстановки в (1) значений  $e_k^*$ . Параметр асимметрии тензора ГЭП  $n_{cr}$  рассчитывался по соотношению

$$n_{cr} = \frac{V_{xxcr} - V_{yyer}}{V_{zzcr}}$$

причем главные оси тензора кристаллического ГЭП  $\{x, y, z\}$  выбирались исходя из неравенства  $|V_{zzcr}| > |V_{yyer}| > |V_{xxcr}|$

В табл.1 приведены результаты расчетов тензора кристаллического ГЭП в узлах  $Cu(1)$  и  $Cu(2)$  для наиболее часто используемых моделей распределения зарядов по узлам решеток  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ .

**Таблица 1 - Параметры тензора кристаллического ГЭП для узлов меди решеток  $YBa_2Cu_3O_x$**

Модель распределения зарядов	$eq_{cr3},$ $\frac{e}{A}$	$n_{cr3}$	$eq_{cr4},$ $\frac{e}{A}$	$n_{cr4}$
$Y^{3+}Ba_2^{2+}Cu(1)^+Cu(2)_2^{3+}O_7^{2-}$	0,997	0,02	0,552	0,16
$Y^{3+}Ba_2^{2+}Cu(1)^{2+}Cu(2)_2^{2+}O_7^{2-}$	1,162	0,40	0,700	0,13
$Y^{3+}Ba_2^{2+}Cu(1)^+Cu(2)_2^{2+}O_6^{2-}$	-1,252	0,00	0,669	0,00
$Y^{3+}Ba_2^{2+}Cu(1)^{3+}Cu(2)_2^{2+}O_6^{2-}$	-1,569	0,00	0,816	0,00

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тураев Э.Ю., Тураев Н.Ю., Серегин П.П. // Электронная структура меди в  $YBaCuO$ , определенная методом эмиссионной Мессбауэровской спектроскопии. Узбекский физический журнал. 1991. Вып.3. С. 42-46.

2. Marezio J.J., Chaillout C.E. // Structure of the 100 K superconductor  $YBaCuO$  between 5-300 K. Europhys. Lett. 1987. V.3. P. 1301-1307.

УДК 54-145+541.64:546.6

А.С. Косимов, проф., кан. хим.наук  
(ТерГУ г.Термез, Узбекистан);

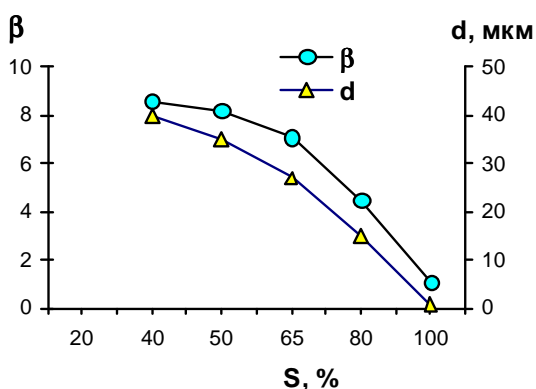
А.А. Холмуминов, проф., д. физ.-мат. наук  
(Национальный Университет Узбекистана, г. Ташкент)

## ОПТИЧЕСКИЕ АНИЗОТРОПИИ ПЛЕНОК Na-КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ РАСТВОРЕНИЯ

Пленки полимеров, в частности, Na-карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) могут быть получены путем испарения растворителя из тонкого слоя раствора данного полисахарида. При этом очень важно контролировать фазовую однородность раствора, поскольку, в зависимости от степени замещения образцы Na-КМЦ растворяются в раз-

личной степени. Наличие нерастворенных фракций приводит к фазовой неоднородности пленок, и такая морфология неизбежно отражается в физических свойствах материала и может быть оценена по величине оптической анизотропии, измеряемой методом двулучепреломления (ДЛП). Na-КМЦ характеризуется величиной оптической анизотропии сегмента ( $\alpha_1 - \alpha_2$ )  $\approx 300 \cdot 10^{25}$  см<sup>3</sup>, проявляющей эффект двулучепреломления при прохождении поляризованного света.

Растворение Na-КМЦ в воде носит кинетический характер и в зависимости от времени были



**Рисунок 1 - Зависимость оптической анизотропии ( $\beta$ ) и размеров частиц ( $d$ ) от степени растворения ( $S$ ) для Na-КМЦ**

по величине  $\rho \sim \Delta n_{\text{ч}} / \Delta n_{\text{м}}$  оценивали морфологические характеристики пленок Na-КМЦ (рисунок 1). Обнаружены ярко выраженные анизотропные частицы в пленках, причем выявлено, что пленки, полученные при низкой степени растворения, характеризуются высокой степенью неоднородности по оптической анизотропии. Также снижение размеров частиц по мере увеличения степени растворения Na-КМЦ.

Таким образом, показана возможность оценки морфологических характеристик пленок Na-КМЦ, содержащих нерастворенных фракций по величине оптической анизотропии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Косимов А.С. Гидродинамическое поведение макромолекулярных комплексных соединений. Термез: Хамидий, 2018.
2. Холмуминов А.А. Полимерлар физикаси. Тошкент: Университет, 2015.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЫРОК В РЕШЕТКАХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

Одна из основных проблем современной физики – это проблема определения эффективных зарядов и пространственного распределения электронных дефектов в решетках ВТСП.

Определение, указанных величин необходимо как для построения теории ВТСП, так и для создания теоретических основ технологии получения ВТСП.

Для изучения примесных атомов в твердых телах используются две группы экспериментальных методов. Одна из них не чувствительна к электронной структуре примесных центров (например: электропроводность, фотопроводимость, эффект Холла и другие) [1].

Вторая группа методов (ЭПР, ЯКР, ЯГРС) чувствительны к электронной структуре примесных центров и эти методы позволяют не только идентифицировать природу примесных центров, но и интерпретировать результаты непосредственно в терминах электронной структуры [2].

Поэтому мы старались сформулировать требования, предъявляемые к месбауэровской спектроскопии на примесных атомах при её использовании в качестве метода идентификации зарядов атомных центров в кристаллах. Эти требования были нами реализованы для случая наиболее типичных высокотемпературных сверхпроводников. Образцы  $YBa_2Cu_3O_7$  готовились методом спекания оксидов в атмосфере кислорода.

Рентгеноструктурный анализ показал однофазность контрольных образцов с параметрами орторомбической структуры. Температура перехода в сверхпроводящее состояние была  $T_c \sim 85K$ . Изотоп  $Cu - 67$  вводился в шихту в химической форме  $CuCl_2$ . При  $T \geq 85 K$  образцы оставались в полупроводниковом состоянии.

Эмиссионные месбауэровские спектры  $YBa_2Cu_3O_7$ , представляют собой наложение двух квадрупольных триплетов различной интенсивности (рисунок 1). Исходя из отношения заселенностей позиции  $Cu - (1)$  и  $Cu - (2)$  более интенсивный триплет отнесен к атому  $^{67}Cu^{+2}$  в узлах  $Cu - (2)$ , а менее интенсивный – к атому  $^{67}Cu^{+2}$  в узлах  $Cu - (1)$ . Для теоретического расчета значения главной компоненты тензора ГЭП в узлах меди в решетках  $YBa_2Cu_3O_7$  проведены расчеты параметров тензора ГЭП с выделением вклада в суммарный ГЭП от отдельных подрешеток методом точечных зарядов [3].

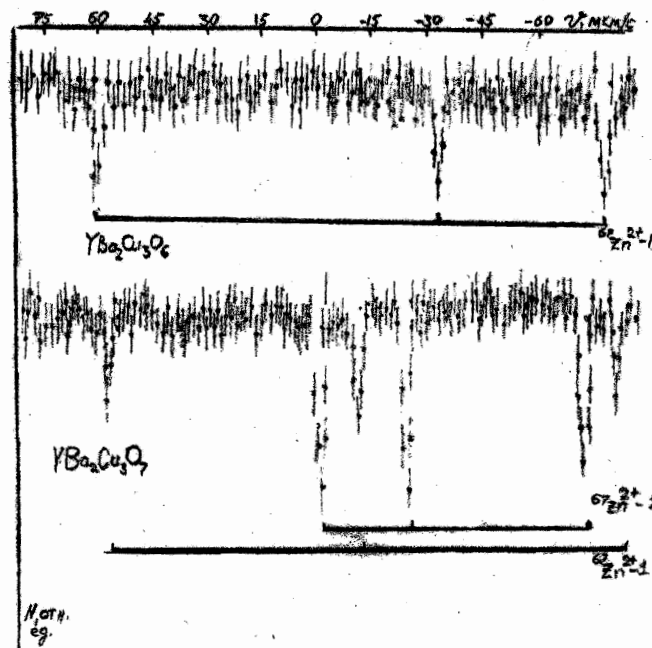


Рисунок 1 – Эмиссионные месбауэровские спектры  $YBa_2Cu_3O_6$  и  $YBa_2Cu_3O_7$  при температуре 80 К

Путем сопоставления расчетных и экспериментальных значений параметров тензора ГЭП определена локализация дырок в решетки высокотемпературного сверхпроводника [4].

Дырка в этой керамике локализована преимущественно на узлах мостикового кислорода  $O(4)$ , хотя возможен частичный перенос дырки на узлы  $O(2)$ , и  $O(3)$ .

Локализация дырки в керамике  $YBa_2Cu_3O_7$  определена путем изучения значения зарядовых состояний атомов.

Зарядовое состояние атомов в керамике имеет значение  $Y^{3,14+} Ba_2^{2,09+} Cu(1)^{1,89+} Cu(2)_2^{1,89+} O(1)_2^{2,09-} O(2)_2^{1,93-} O(3)_2^{1,81-} O(4)^{1,34-}$

Самое малое значение заряда четвертого кислорода дает возможной вероятности локализации дырки в узлах мостикового кислорода  $O(4)$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев А.А. «Высокотемпературная сверхпроводимость», Москва, Наука, 1990.
2. Серегин П.П., Тураев Э.Ю. «Применение эффекта Мессбауэра в физике аморфных полупроводников», Ташкент, Фан, 1989.
3. Александров О.В. «Выращивание монокристаллов высокотемпературных сверхпроводников», Москва, 1988, т:2, стр. 380-383.
4. Александров А.С. «Аномальная глубина проникновения магнитного поля в металлооксидных сверхпроводниках», Письмо в ЖЭТФ, 1988, т.48, № 8, стр. 426 – 428.

УДК 538.

Э.Ю. Тураев, проф., д-р физ.-мат. наук; А.Б. Нарбаев, докторант  
(ТерГУ, г. Термез, Узбекистан)

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОКСИДОВ МЕДИ**

Чистые материалы имеет лишь академический интерес и только легирование открывает возможность их практического использования.

Для изучения примесных атомов в твердых телах использую тся все группы экспериментальных методов. Одна из них не чувствительно на к электронной структуре примесных центров (например: электропроводность, фотопроводимость, эффект Холла и другие) [1].

Вторая группа методов (ЭПР, ЯКР, ЯГРС) чувствительны к электронной структуре примесных центров и эти методы позволяют не только идентифицировать природу примесных центров, но и интерпретировать результаты непосредственно в терминах электронной структуры [2].

Поэтому мы старались сформулировать требования, предъявляемые к мессбауэровской спектроскопии на примесных атомах при её использовании в качестве метода идентификации зарядов атомных центров в кристаллах. Эти требования были нами реализованы для случая наиболее типичных металлооксидов меди при введении радиоактивных изотопов  $C_{57}$  методом синтеза. Изучение структуру и зарядовых состояний атомов в оксидах меди позволяет определить некоторые параметры так называемых высокотемпературных сверхпроводников, которые являются основными объектами ученых-физиков в настоящее время. Высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП) – это актуальная задача современной физики.

Одна из основных проблем современной физики – это проблема определения эффективных зарядов атомов и пространственного распределения электронных дефектов в решетках ВТСП. Определение указанных величин необходимо как для создания теоретических основ технологии получения ВТСП с заданным комплексом электрофизических свойств [3].

Наиболее перспективным методом решения проблемы определения зарядов является метод сравнения экспериментально определенных параметров тензор градиента электрического поля (ГЭП) с результатами их теоретического расчета. Теоретический расчет тензора ГЭП может быть проведен в рамках модели точечных зарядов, мето-

дом Хартри – Фока и молекулярной орбиталей, методом плоских волн в приближении локальной плотности [4].

Экспериментальная информация о параметрах тензора ГЭП может быть получена методами ЯМР, ЯКР и ЯГРС. Экспериментальные данные относятся либо к центрам меди, кислорода и РЗМ, либо к примесным атомам в узлах меди [5].

В настоящей работе использована эмиссионная Мессбауэровская спектроскопия на изотопах  $C_{57}$  – 57.

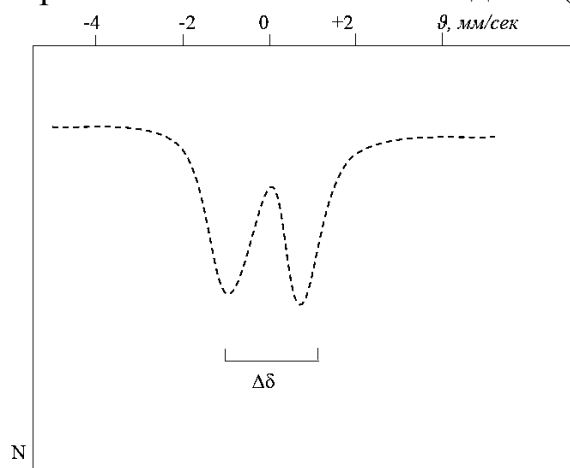
Перед нами стояла задача методического обоснования возможностей эмиссионной мессбауэровской спектроскопии на указанной изотопе для изучения структур сложных металлоксидов меди.

Спектры образцов  $CuO$ : ( $C_{57}$ ) при 295 К представляли собой квадрупольные дублеты, отвечающей центрам Fe (2+).

С понижением температуры ниже температуры Нееля разрешение спектра ухудшается и появляется тонкая структура, свидетельствующая о магнитном упорядочении подрешетки, в которой локализованы примесные атомы.

Этот факт позволил сделать вывод о стабилизации примесных атомов Fe (2+) в узлах кристаллической решетки меди, причем замещение ионов Cu (2+) на Fe (2+) не должно приводить к появлению центров компенсации.

Проведен расчет тензора кристаллического ГЭП для катионных узлов  $CuO$ , причем решетка записывалась в виде  $Cu(2+)O(2-)$ .



**Рисунок**

Расчётные значение квадрупольного расщепления спектра  $CuO$ : ( $C_{57}$ ) равно 2,32 мм/с, что существенно отличается от экспериментального значения 1,56 мм/с. Такое расхождение объясняется тем, что для центров Fe (2+) ГЭП на ядрах Fe – 57 создается как ионами кристаллической решетки, так и валентными электронами центра железа

(1), тогда как расчет учитывает только кристаллическую составляющую ГЭП. Таким образом, хотя изовалентное замещение ионов  $\text{Cu}(2+)$  на ионы  $\text{Fe}(2+)$  в решетке  $\text{CuO}$  приводит к хорошо описываемой модели, однако теоретический расчет тензора ГЭП для нее оказывается невозможным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев А.А. «Высокотемпературная сверхпроводимость», Москва, Наука, 1990.
2. Серегин П.П., Тураев Э.Ю. «Применение эффекта Мессбауэра в физике аморфных полупроводников», Ташкент, Фан, 1989.
3. Нельсон Д. «Высокотемпературные сверхпроводники», Москва, Мир, 1988.
4. Павлов В.С. «Спектральный аспект сверхпроводимости - координатное спаривание электронов», Вестник ЛГУ, 1987, Т.15, С. 43-49.
5. Метлин Ю.Г. «Химия и технология высокотемпературных сверхпроводников», Химия твердого тела, 1988, вып. 6, С. 3-142.

УДК 536.421.4

Ф.В. Недопекин, д-р. техн. наук, проф.; А.В. Садомова магистрант  
(Донецкий Национальный Университет, г. Донецк)

## МЕТОД БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА (БТА) ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Исследование фазовых превращений при нагревании и охлаждении проводят, в основном, методом дифференциального термического анализа (ДТА). Прямой метод термического анализа (ПТА) считается менее чувствительным, хотя он более информативен при определенных различных теплофизических и кинетических параметров фазовых переходов.

Для усиления чувствительности метода ПТА нами разработан новый метод, т.н. баллистический термический анализ (БТА).

Сущность метода БТА заключается в достижении специально подобранным режимом включения или выключения минимального различия в температурах печи и образца (за счет инерционности печи). Тем самым с повышенной чувствительностью регистрируются температуры термических превращений. Для обнаружения новых эндо- и экзотермических эффектов проверяется каждый градус, после

чего тщательно исследуется обнаруженный фазовый переход путем термоциклирования. С этой целью нижняя граница поддерживается постоянной, а каждый последующий термоцикл отличался от предыдущего тем, что выключение печи производится на определенное время позже, чем в предыдущем термоцикле. Это приводит к повышению либо понижению верхней границы температуры от цикла к циклу на 1-2°.

Такой способ термографирования вблизи температур фазового превращения позволяет обнаруживать эндо- и экзотермические эффекты, вычислять параметры фазовых превращений и т. д.

Учитывая тепловую инерцию печи относительно исследуемого тела, такое прощупывание имеет как бы вид "запуска" порций энергии по баллистической траектории, что приводит к минимизации температурных градиентов между печью и образцом.

При пересечении кривых нагрева (охлаждения) печи и тела температурные градиенты практически сводятся к нулю. В этом принципиальное отличие БТА от других методов.

Методом БТА определяются следующие экспериментальные параметры: скорости нагрева, скорость охлаждения, время и скорость плавления, инкубационный период, степень переохлаждения, время и скорость кристаллизации, время полного затвердевания, теплота плавления и кристаллизации и др., которые рассчитываются по термограммам.

Измеряемые эмпирические характеристики используются для расчета разных термодинамических и кинетических параметров фазовых превращений.

Метод БТА апробирован при изучении процессов плавления и кристаллизации висмута, олова и свинца.

УДК 004.421

А. Абдуллаев, проф. (Ферганский филиал ТУИТ);  
Ш. Жураев, ассист. (Андижан машиностроительный институт)

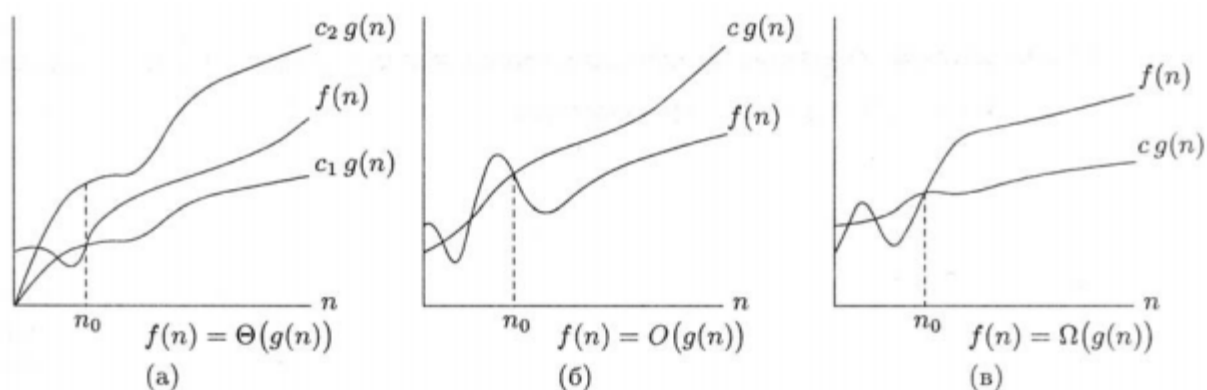
### **ПРИМЕНЕНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТЫ АЛГОРИТМА**

В практике широко используются различные способы оценки работы алгоритма. Анализируя алгоритм, можно стараться найти точное количество выполняемых им действий. Но в большинстве случаев достаточно оценить асимптотику роста времени работы алгоритма при стремлении размера входа к бесконечности (asymptoticefficiency).

Если у одного алгоритма асимптотика роста меньше, чем у другого, то в большинстве случаев он будет эффективнее для всех входов, кроме совсем коротких [1,2]. Для оценки работы алгоритма, в практике широко используются асимптотические обозначения.

Одним из асимптотических обозначений является  $\Theta$ -обозначение.

Например, что время  $T(n)$  работы алгоритма сортировки вставками на входах длины  $n$  есть  $\Theta(n^2)$ . Точный смысл этого утверждения такой: найдутся такие константы  $c_1, c_2 > 0$  и такое число  $n_0$ , что  $c_1 n^2 \leq T(n) \leq c_2 n^2$  при всех  $n \geq n_0$ . Вообще, если  $g(n)$  — некоторая функция, то запись  $f(n) = \Theta(g(n))$  означает, что найдутся такие  $c_1, c_2 > 0$  и такое  $n_0$ , что  $0 \leq c_1 g(n) \leq f(n) \leq c_2 g(n)$  для всех  $n \geq n_0$  (рисунок 1а). (Запись  $f(n) = \Theta(g(n))$  читается так: «эф от эн есть тэта от же от эн».)



**Рисунок 1 – Иллюстрация к определениям  $f(n) = \Theta(g(n))$ ,  $f(n) = O(g(n))$  и  $f(n) = \Omega(g(n))$ .**

Разумеется, это обозначение следует употреблять с осторожностью: установив, что  $f_1(n) = \Theta(g(n))$  и  $f_2(n) = \Theta(g(n))$ , не следует заключать, что  $f_1(n) = f_2(n)$ !

Определение  $\Theta(g(n))$  предполагает, что функции  $f(n)$  и  $g(n)$  асимптотически неотрицательны (asymptotically nonnegative), т. е. неотрицательны для достаточно больших значений  $n$ . Заметим, что если функции  $f$  и  $g$  строго положительны, то можно исключить  $n_0$  из определения (изменив константы  $c_1$  и  $c_2$  так, чтобы для малых  $n$  неравенство также выполнялось).

Если  $f(n) = \Theta(g(n))$ , то говорят, что  $g(n)$  является асимптотически точной оценкой (asymptotically tight bound) для  $f(n)$ . На самом деле это отношение симметрично: если  $f(n) = \Theta(g(n))$ , то  $g(n) = \Theta(f(n))$ .

Допустим, что  $(1/2)n^2 - 3n = \Theta(n^2)$ . Согласно определению надо указать положительные константы  $c_1, c_2$  и число  $n_0$  так, чтобы неравенства

$$c_1 n^2 \leq \frac{1}{2} n^2 - 3n \leq c_2 n^2$$

выполнялись для всех  $n \geq n_0$ . Разделим выражение на  $n^2$ :

$$c_1 \leq \frac{1}{2} - \frac{3}{n} \leq c_2$$

Видно, что для выполнения второго неравенства достаточно положить  $c_2 = 1/2$ . Первое будет выполнено, если (например)  $n_0 = 7$  и  $c_1 = 1/14$ .

Другой пример использования формального определения: покажем, что  $6n^3 \neq \Theta(n^2)$ . В самом деле, пусть найдутся такие  $c_2$  и  $n_0$ , что  $6n^3 \leq c_2 n^2$  для всех  $n \geq n_0$ . Но тогда  $n \leq c_2/6$  для всех  $n \geq n_0$  — что явно не так.

Отыскивая асимптотически точную оценку для суммы, мы можем отбрасывать члены меньшего порядка, которые при больших  $n$  становятся малыми по сравнению с основным слагаемым. Заметим также, что коэффициент при старшем члене роли не играет (он может повлиять только на выбор констант  $c_1$  и  $c_2$ ). Например, рассмотрим квадратичную функцию  $f(n) = an^2 + bn + c$ , где  $a, b, c$  — некоторые константы и  $a > 0$ . Отбрасывая члены младших порядков и коэффициент при старшем члене, находим, что  $f(n) = \Theta(n^2)$ . Чтобы убедиться в этом формально, можно положить  $c_1 = a/4$ ,  $c_2 = 7a/4$  и  $n_0 = 2 \cdot \max(|b|/a, \sqrt{|c|/a})$  (проверьте, что требования действительно выполнены). Вообще, для любого полинома  $p(n)$  степени  $d$  с положительным старшим коэффициентом имеем  $p(n) = \Theta(n^d)$ .

Упомянем важный частный случай использования  $\Theta$ -обозначений:  $\Theta(1)$  обозначает ограниченную функцию, отделённую от нуля некоторой положительной константой при достаточно больших значениях аргумента.

Кроме того, можно использовать  $O$ - и  $\Omega$ -обозначения. Запись  $f(n) = \Theta(g(n))$  включает в себя две оценки: верхнюю и нижнюю. Их можно разделить. Говорят, что  $f(n) = O(g(n))$ , если найдётся такая константа  $c > 0$  и такое число  $n_0$ , что  $0 \leq f(n) \leq cg(n)$  для всех  $n \geq n_0$  (рисунок 1б). Говорят, что  $f(n) = \Omega(g(n))$ , если найдётся такая константа  $c > 0$  и такое число  $n_0$ , что  $0 \leq cg(n) \leq f(n)$  для всех  $n \geq n_0$  (рисунок 1в). Эти записи читаются так: «эф от эн есть о большое от же от эн», «эф от эн есть омега большая от же от эн».

По-прежнему мы предполагаем, что функции  $f$  и  $g$  неотрицательны для достаточно больших значений аргумента. Легко видеть, что выполнены следующие свойства:

**Теорема 1.** Для любых двух функций  $f(n)$  и  $g(n)$  свойство  $f(n) = \Theta(g(n))$  выполнено тогда и только тогда, когда  $f(n) = O(g(n))$  и  $f(n) =$



$\Omega(g(n))$ .

Для любых двух функций  $f(n)$  и  $g(n)$  свойства  $f(n) = O(g(n))$  и  $g(n) = \Omega(f(n))$  равносильны.

Например,  $an^2+bn+c = \Theta(n^2)$  (при положительных  $a$ ). Поэтому  $an^2+bn+c = O(n^2)$ . Другой пример: при  $a > 0$  можно написать  $an+b = O(n^2)$  (положим  $c = a+b$  и  $n_0 = 1$ ). Заметим, что в этом случае  $an+b \neq \Omega(n^2)$  и  $an+b \neq \Theta(n^2)$ .

Асимптотические обозначения ( $\Theta$ ,  $O$  и  $\Omega$ ) часто употребляются внутри формул.

Например, в рекуррентном соотношении

$$T(n) = 2T(n/2) + \Theta(n)$$

определено время работы сортировки слиянием. Здесь  $\Theta(n)$  обозначает некоторую функцию, про которую нам важно знать лишь, что она не меньше  $c_1n$  и не больше  $c_2n$  для некоторых положительных  $c_1$  и  $c_2$  и для всех достаточно больших  $n$ .

Часто асимптотические обозначения употребляются не вполне формально, хотя их подразумеваемый смысл обычно ясен из контекста. Например, мы можем написать выражение

$$\sum_{i=1}^n o(i)$$

имея в виду сумму  $h(1)+h(2)+\dots+h(n)$ , где  $h(i)$  — некоторая функция, для которой  $h(i) = O(i)$ . Легко видеть, что сама эта сумма как функция от  $n$  есть  $O(n^2)$ .

Аналогичным образом вводится  $\omega$ -обозначение: говорят, что  $f(n)$  есть  $\omega(g(n))$  («эф от эн есть омега малая от же от эн»), если для всякого положительного найдется такое  $n_0$ , что  $0 < cg(n) \leq f(n)$  при всех  $n \geq n_0$ . Очевидно,  $f(n) = \omega(g(n))$  равносильно  $g(n) = o(f(n))$ .

Пример:  $n^2/2 = \omega(n)$ , но  $n^2/2 \neq \omega(n^2)$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кнут Д. Э. Искусство программирования. Том 1. Основные алгоритмы = The Art of Computer Programming. Volume 1. Fundamental Algorithms / подред. С. Г. Тригуб (гл. 1), Ю. Г. Гордиенко (гл. 2) и И. В. Красикова (разд. 2.5 и 2.6). — 3. — Москва: Вильямс, 2002. — Т. 1. — 720 с.

2. Thomas H. Cormen Charles E. Leiserson Ronald L. Rivest Clifford Stein. Introduction to Algorithms. Tread edition. The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England 2009. 1200p.

УДК 621.315.592; 535.33

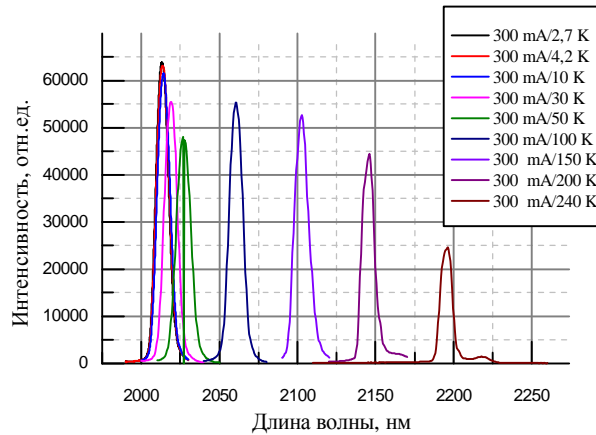
Е. В. Лебедок, канд. физ-мат. наук;  
Д. М. Кабанов, канд. физ-мат. наук; Р. Ю. Микулич, асп.  
(ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», г. Минск);  
Ю. П. Яковлев, д-р физ-мат. наук; Е. В. Куницына, канд. физ-мат. наук  
(ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Россия, г. Санкт-Петербург)

## **ИЗЛУЧЕНИЯ ДИСКОВЫХ ЛАЗЕРОВ НА ОСНОВЕ GAINASSB/ALGAASSB ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ 2,7–300 К**

Создание спектральных приборов для медицины, экологии, промышленного мониторинга, изучения загрязнения окружающей среды на сегодняшний день является одним из важных направлений. Появление и разработка детекторов и анализаторов требует развитие полупроводниковых источников среднего ИК диапазона, работающих в широком интервале температур.

Исследуемые образцы представляет собой полупроводниковые лазерные диоды с дисковыми резонаторами. Гетероструктура лазеров выращена методом молекулярно - пучковой эпитаксии на установке RIBER Compact 21E на подложке n - GaSb (100) в организации соисполнителе проекта с российской стороны (ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН). Активная область общей толщиной 750 нм состояла из двух напряженных квантовых ям состава  $\text{Ga}_{0.65}\text{In}_{0.35}\text{As}_{0.11}\text{Sb}_{0.89}$ , каждая толщиной 10 нм, разьединённых слоем  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}_{0.02}\text{Sb}_{0.98}$  толщиной 30 нм. Волноводные слои, изготовленные из  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}_{0.02}\text{Sb}_{0.98}$ , имели толщину по 350 нм. Активная область преднамеренно не легировалась. Волновод был ограничен широкозонными слоями p (Be) - и n (Te) -  $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}_{0.08}\text{Sb}_{0.92}$  толщинами по 1,5 мкм. Для улучшения инжекции носителей заряда в активную область с внешней стороны широкозонных слоев были выращены два тонких, по 100 нм, варизонных слоя AlGaAsSb. Верхний контактный слой GaSb p-типа имел толщину 300 нм и был легирован до концентрации дырок  $p = 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ .

Для исследования температурных характеристик образцы были помещены охлаждаемый вакуумный криостат с возможностью установки температуры от 2,7 до 300 К. Регистрация излучения лазерных диодов осуществлялась с помощью монохроматора-спектрографа SOL Instruments MS3504i. Для детектирования излучения образцов применялся охлаждаемый PbSe фотоприемник. Измеренные спектры электролюминесценции образца №606 с диаметром резонатора 100 мкм представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1 - Зависимость спектра электролюминесценции образца номер 606 от температуры, при квазинепрерывном режиме накачки, амплитуда 300 мА, частота следования импульса 16 кГц**

Не линейная зависимость интенсивности излучения исследуемого образца от температуры может быть объяснена сложной структурой излучаемой структуры. Более детальное моделирование процессов электролюминесценции и исследование образцов может проводиться с помощью дополнительного моделирования, при этом наличие в полупроводнике примесей и дефектов, характеризующихся мелкими энергетическими уровнями в запрещенной зоне, обуславливает разрешение оптических межзонных переходов без выполнения правил отбора по волновому вектору электрона [1]. Для такого случая спектральная мощность спонтанного излучения в объемных кристаллах описывается соотношением [2]:

$$W_{\text{сп}}(E) = \frac{2e^2 n_0 |\mathbf{M}|^2}{\pi^5 \epsilon_0 \hbar^8 c^3} m_c^{3/2} (m_{hh} + m_{lh})^{3/2} E^2 \times \int_{E_g}^E \sqrt{(E_c - E_g)(E - E_c)} f_e(E_c) f_h(E_c - E) dE_c,$$

где  $E$  – энергия фотона;  $m_c$  – эффективная масса электрона;  $m_{hh}$  – эффективная масса тяжелой дырки;  $m_{lh}$  – эффективная масса легкой дырки;  $n_0$  – показатель преломления активного слоя;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная;  $c$  – скорость света в вакууме;  $\hbar$  – редуцированная постоянная Планка;  $|\mathbf{M}|^2$  – квадрат матричного элемента межзонных оптических переходов в модели без выполнения правил отбора по волновому вектору, усредненный по поляризациям и направлениям распространения излучения;  $f_e(E)$  – функция Ферми–Дирака для электронов;  $f_h(E)$  – функция Ферми–Дирака для дырок;  $F_e$  и  $F_h$  – положения квазиуровней Ферми в зоне проводимости и валентной зоне соответственно;  $E_c$  – энергия состояния в зоне

проводимости.

Оценка зависимости ширины запрещенной зоны от температуры исследуемых структур по измеренным спектрам излучения проводилась следующим способом: построением зависимости положения максимума спектра излучения от температуры с поправкой (в длинноволновую область) на  $kT/2$  [3], где  $k$  – постоянная Больцмана. Для установления зависимости ширины запрещенной зоны исследуемых образцов от температуры необходимо экспериментально определить положение максимумов спектров электролюминесценции образцов при различных температурах. После чего зависимость положения максимумов спектров электролюминесценции в эВ, с поправкой на  $kT/2$ , аппроксимируется формулой Варшни [4]:

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{\beta + T}$$

где  $E_g(0)$  – ширина запрещенной зоны при температуре  $T = 0$  К,  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры Варшни. Оцененные параметры Варшни для исследуемого образца 606:  $E_g(0) = 0,616$  эВ,  $\alpha = 3,44 \cdot 10^{-4}$  эВ/К,  $\beta = 245,87$  К.

Работа частично поддержана грантом БРФФИ № Ф18Р-121 и грантом РФФИ № 18-52-00027.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Температурная зависимость внутренних параметров дисковых лазерных диодов InAs/InAsSbP / В. В. Кабанов [и др.] // Физика и техника полупроводников. – 2009. – Т. 43, № 4. – С. 522–526.
- 2 Suhara, T. Semiconductor laser fundamentals / T. Suhara. – New York: Marcel Dekker, Inc., 2004. – 306 p.
- 3 Электролюминесцентные характеристики светодиодов среднего ИК-диапазона на основе гетероструктур InGaAsSb/GaAlAsSb при высоких рабочих температурах / А. А. Петухов [и др.] // Журнал технической физики. – 2011. – Т. 81, № 4. – С. 91–96.
- 4 Temperature dependence of the energy and broadening parameter of the fundamental band gap of GaSb and Ga<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>As<sub>y</sub>Sb<sub>1-y</sub>/GaSb (0.07 ≤ x ≤ 0.22, 0.05 ≤ y ≤ 0.19) quaternary alloys using infrared photoreflectance / M. Munoz [et al.] // Physical review B. – 2000. – Vol. 62, № 24. – P. 600–604.

Научное издание

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Материалы докладов 84-й научно-технической конференции  
посвященной 90-летию юбилею БГТУ  
и Дню белорусской науки  
(с международным участием)  
Электронный ресурс**

В авторской редакции

Компьютерная верстка:

*Н.А. Жиляк, И.К. Асмыкович, А.С. Наркевич, А.В. Харланович,  
О.А. Новосельская, Е.О. Черник*

Усл. печ. л. 16,39. Уч.-изд. л. 16,92.

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.