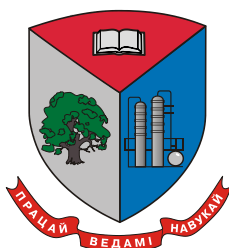


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

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

31 января – 12 февраля 2022 года

Минск 2022

УДК 004:005.745(06)(0.034.2)

ББК 32.97я43

И 74

Информационные технологии : материалы 86-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января – 12 февраля 2022 года [Электронный ресурс] / отв. за издание И.В. Войтов; УО БГТУ. – Минск : БГТУ, 2022. – 260 с. ISBN 978-985-530-997-1.

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

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

Рецензенты:

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

Н.Н. Крук

канд. техн. наук, зав. кафедрой программной

Н.В. Пацей

инженерии

канд. техн. наук, зав. кафедрой информатики

Д.М. Романенко

и веб-дизайна

канд. техн. наук, декан факультета

Д.В. Шиман

информационных технологий

канд. техн. наук, доц. кафедры информационных

Н.Н. Пустовалова

систем и технологий

Главный редактор

ректор, д-р техн. наук, профессор

И.В. Войтов

ISBN 978-985-530-997-1

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Крук Н.Н.</i> Многоцентровые межмолекулярные взаимодействия как ключевой элемент функционирования макрогетероциклических соединений.....	8
<i>Буснюк Н.Н.</i> Задачи сетевого планирования с ограничениями на трудовые ресурсы.....	11
<i>Колеснёв Е.С., Жияк Н.А.</i> Использование датчика для контроля иммитансных характеристик моторного масла с точки зрения экономической выгоды.....	14
<i>Жияк Н.А.</i> Объекты JavaScript. Тонкости создания.....	18
<i>Жияк Н.А.</i> Некоторые приемы при использовании библиотеки ReactJS	22
<i>Курмашев Д.Д., Смелов В.В.</i> Алгоритмы анализа пользовательской активности.....	26
<i>Дубовик М.В., Смелов В.В.</i> Методы оценки алгоритмов диспетчеризации HTTP-запросов.....	28
<i>Добыш Д.К., Пустовалова Н.Н.</i> Регистрация почтовых отправок с помощью веб-сервиса	30
<i>Ржеутская Н.В.</i> Сравнительная характеристика систем компьютерного тестирования знаний студентов.....	33
<i>Бируля А.С., Гурин Н.И.</i> Создание динамического адаптивного ассета ели для среды Unity	38
<i>Кантарович В.С., Гурин Н.И.</i> Динамическая визуализация древостоя в процессах лесовыращивания	40
<i>Копыток Д.В.</i> Анализ влияния таксационных характеристик сосновых насаждений на заражение их корневой губкой	44
<i>Блинова Е.А., Сташевская И.Ю.</i> Использование формата GeoJson для нанесения стеганографического водяного знака на электронные карты.....	46
<i>Николайчук А.Н., Урбанович П.П.</i> Анализ стеганографических методов на основе контейнеров SVG-формата.....	49
<i>Савельева М.Г.</i> Метод стеганографического внедрения тайной информации в web-документы на основе растровой графики	52
<i>Савельева М.Г.</i> Сравнительный анализ синтаксических методов текстовой стеганографии.....	55
<i>Нистюк О.А.</i> Защита текстовой информации с помощью добавления контура к символам текста	59
<i>Жияк Н.А., Джеремий Убонг Чарлес</i> Нейронные сети как решение задачи классификации изображений	62

<i>Ляхов С.В., Салихова М.Н., Некрасов А.С.</i> Моделирование процесса ТО и Р парка лесозаготовительной техники передвижными средствами	66
<i>Побединский В.В., Анянова Е.В., Чевардина А.Ю.</i> Формализация задачи оценки рекультивации нарушенных земель	69
<i>Пацей Н.В., Шиман Д.В., Сухорукова И.Г., Наркевич А.С.</i> Многоуровневая архитектура организации распределенных информационных систем.....	72
<i>Patsei N., Jaber G.</i> Routing of Named Data Object With Semantic Part of Name in Information-Centric Networking	75
<i>Гончар Е.Н., Чистякова Ю.А., Пахолко А.С.</i> Угрозы и проектирование безопасности информационно-ориентированных сетей	78
<i>Карпович М.</i> Проектирование микросервисных архитектур информационных систем.....	82
<i>Навроцкий Я.Ю., Пацей Н.В.</i> Принципы гиперболической маршрутизации в информационно-ориентированных сетях.....	85
<i>Сухорукова И.Г.</i> Использование фреймворка mediapipe в мульти-медийных приложениях	88
<i>Белодед Н.И.</i> Современные образовательные технологии подготовки кадров.....	91
<i>Наркевич А.С.</i> Организация командной работы студентов над проектом на основе гибких методов управления проектами Agile	94
<i>Парамонов А.И.</i> Метод индексирования текстовых фрагментов для организации смыслового поиска по базе документов.....	98
<i>Годун А.В.</i> Организация командной работы NFT маркетплейс, покупка, коллекционирование и перепродажа NFT через маркетплейс OpenSea.....	102
<i>Мущук А.Н.</i> Методы описательной статистики	104
<i>Потапенко Н.И.</i> Морфизм в веб-дизайне.....	107
<i>Потапенко Н.И., Василькова А.Н.</i> Эргономика цифровой среды.....	112
<i>Дятко А.А.</i> Моделирование пассивных помех в виде отражений от облаков дипольных отражателей.....	115
<i>Кудлацкая М.Ф.</i> Возможности JavaScript В 3D моделировании.....	117
<i>Брусенцова Т.П., Кишикурно Т.В.</i> Привлечение аудитории к цифровым продуктам с помощью элементов геймификации	121
<i>Шутько Н.П.</i> Использование цветовых координат HSL для защиты и передачи авторской информации	125
<i>Мирончик Е.С., Осоко С.А.</i> 2,5D-анимация в Spine	128

<i>Осоко С.А., Мирончик Е.С.</i> Моделирование бюджета прожиточного минимума в условиях неопределенности цен энергоресурсов	131
<i>Осоко С.А., Кунцевич С.В.</i> Терминальные серверы и «тонкие клиенты» для системы образования.....	134
<i>Попеня Н.В., Романенко Д.М.</i> Особенности использования алгоритмов нахождения контуров в стеганографической системе с элементами яркостной коррекции изображений	138
<i>Новосельская О.А., Савчук Н.А., Варепо Л.Г., Нагорнова И.В.</i> Особенности отображения штриховых защитных изображений.....	140
<i>Харланович А.В., Новосельская О.А.</i> Использование фракталов в топологии 3D-объектов	143
<i>Щербакова А.Н., Романенко Д.М.</i> Разработка алгоритма кодирования штриховых векторных изображений	147
<i>Игнаткова Я.А.</i> Кастомизация как актуальный способ создания веб-сайта.....	151
<i>Ломонос Г.В., Романенко Д.М.</i> Особенности применения метода выбора комбинаций гиперпараметров при использовании нейросетевых алгоритмов для решения узкоспециализированных банковских задач	155
<i>Ласык Я., Романенко Д.М., Урбанович П.П.</i> Использование сетевых протоколов и стеганографии для тайной передачи информации	158
<i>Сапун О.Л., Гончар А.С.</i> Применение межсетевого экрана для повышения информационной безопасности	163
<i>Карлович Т.Б., Сухоцкий А.Б., Данильчик Е.С.</i> Влияние скорости течения жидкости на формирование конвективных валов в плоском горизонтальном слое, подогреваемом снизу	167
<i>Чаявский В.В., Штемплук Р.Г., Кулешов А.К.</i> Синтез и свойства Ni-ДНА покрытий на стали.....	170
<i>Вершиловская И.В., Гладков Л.Л., Ваутер Маес, Крук Н.Н.</i> Инверсия ароматичности NH-таутомеров свободных оснований корролов в нижнем триплетном T ₁ состоянии.....	173
<i>Кленицкий Д.В., Вершиловская И.В., Гладков Л.Л., Маес Воутер, Крук Н.Н.</i> Управление NH-таутомерным равновесием в свободных основаниях корролов путем замещения макроцикла ...	176
<i>Гладков Л.Л., Петрова Д.В., Воутер Маес, Кленицкий Д.В., Крук Н.Н.</i> О формировании четырех NH-таутомеров в свободных основаниях ассимметрично замещенных корролов.....	181

<i>Бильданов Э.Э., Грода Я.Г., Ласовский Р.Н.</i> Адсорбция частиц решеточного флюида с отталкиванием ближайших соседей на линейную инертную притягивающую границу	184
<i>Грода Я.Г., Грода Н.Г., Бильданов Э.Э.</i> Диффузии решеточного флюида с взаимодействием ближайших соседей на прямоугольной двухуровневой решетке.....	187
<i>Ласовский Р.Н., Грода Я.Г., Пацаган Т.Н.</i> Моделирование решеточных систем с отталкиванием ближайших соседей.....	191
<i>Мисевич А.В., Лаппо А.Н., Долгий В.К.</i> Электрические свойства сенсорной МДП-структуры на основе фталоцианина меди и оксида индия.....	195
<i>Мадьяров В.Р.</i> Применение эффекта магнитоплазменного отражения для определения электронных характеристик полупроводников.....	199
<i>Фарафонтова Е.В., Наркевич И.И., Рогач А.А., Кулеш А.А.</i> Статистическое изучение адсорбции на сферических кристаллических наночастицах	202
<i>Наркевич И.И., Фарафонтова Е.В.</i> Применение идеи о сокращенном описании флуктуаций поля плотностей в рамках двухуровневого статистического метода.....	205
<i>Тульев В.В.</i> Состав приповерхностных слоев структур Ti/Si и Co/Si, полученных ионно-ассистируемым осаждением в вакууме	208
<i>Тарасенко Н.В., Буцень А.В.</i> Эмиссионная спектроскопия лазерно-индуцированной плазмы в жидкости	212
<i>Поплавский В.В., Дробов А.Н., Поболь И.Л., Гусакова С.В.</i> Исследование микроструктуры и состава слоев, сформированных в процессах ионно-плазменной обработки поверхности сплава титана	216
<i>Бобрович О.Г.</i> Анализ химического состава поверхностного слоя графита, модифицированного ионно-ассистируемым осаждением молибдена.....	220
<i>Зайцев С.А.</i> Способ имитационного моделирования радиолиза полимеров	223
<i>Ходасевич М.А., Ляхнович А.В., Х. Ериклиоглу.</i> Дифференциация шоколада по составу и производителю на основе анализа методом главных компонент предобработанных спектров пропускания ТГЦ диапазона.....	226
<i>Яроцкая Л.Д.</i> Асимптотические свойства G-функции Мейера специального вида по мнимым параметрам.....	236

<i>Асмыкович И.К.</i> Синтез линейных регуляторов в дескрипторных системах	231
<i>Волк А.М., Вилькоцкий А.И., Архипенко О.А.</i> Анализ процессов переноса в роторных аппаратах	235
<i>Борковская И.М.</i> Необходимые условия стабилизации гибридных дифференциально-разностных систем.....	238
<i>Якименко А.А.</i> Асимптотическое поведение нулевого решения одного уравнения нейтрального типа на границе области устойчивости	241
<i>Пономарева С.В., Пыжкова О.Н.</i> Поточечная оценка решений задачи коши для дифференциальных уравнений дробного порядка	242
<i>Горячкин В.В., Крахотко В.В., Игнатенко В.В.</i> Об управляемости дискретных линейных уравнений вольтерра	246
<i>Чайковский М.В.</i> Оптимизация выбора инвестиций с помощью нечетких множеств.....	248
<i>Соловьева И.Ф.</i> О свойствах жесткости в граничных задачах с пограничным слоем.....	250
<i>Савва В. А., Банжак С.</i> Динамика лазерного возбуждения молекул: дискретный алгоритм решения для моделей с неоднородным пространством Фурье	254
<i>Сиротко С.И.</i> К задаче двухуровневого программирования	257

**МНОГОЦЕНТРОВЫЕ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАК КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАКРОГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ
СОЕДИНЕНИЙ**

Описание процессов межмолекулярного взаимодействия в растворах является одной из важнейших междисциплинарных задач, стоящих перед современной биологической химией, физической химией, молекулярной физикой и статистической термодинамикой. Представления о межмолекулярных взаимодействиях эволюционировали одновременно с развитием знаний о молекулярной структуре молекулярных систем. В простейшем случае, реагенты рассматриваются либо как материальные точки, либо сферы и подразумевается, что любое столкновение реагентов приводит к протеканию некоторого процесса либо реакции. Однако, измеренные константы скорости процессов во многих случаях оказываются (существенно) меньше констант скорости диффузии реагентов. Чтобы учесть, что не каждое столкновение реагентов приводит к протеканию реакции, необходимо усложнить модель путем введения дополнительной стадии, которая лимитирует скорость взаимодействия. Наличие клеточного эффекта для реакций в растворах и зависимость скорости межмолекулярных взаимодействий от взаимной ориентации реагентов, привело к понятию анизотропии реакционной способности молекул. Для того, чтобы реакция произошла, требуется чтобы произошел контакт определенных реакционных центров, либо, если размеры реагирующих молекул существенно различаются, чтобы субстрат в результате диффузионного движения «обнаружил» реакционный центр в макромолекуле. Таким образом, с течением времени, трансформировалась формулировка самой задачи, теперь во многих случаях принято говорить о процессах молекулярного распознавания и передачи информации в молекулярных системах. В общем виде, состояние системы при протекании таких реакций можно описать с помощью некоторой функции одной переменной $S = f(x)$.

Вместе с тем, рассмотрение более сложных фермент-субстратных систем и белков привело к пониманию того, что для описания взаимодействия данного субстрата x с некоторой системой необходимо учесть ее взаимодействие с другим субстратом y , которое называют аллостерическим взаимодействием. В этом случае, состояние системы будет описываться произведением двух функций $S = f(x)g(y)$, и представлять собой функцию от x с внешним параметром y .

Многоцентровые взаимодействия наблюдаются и в достаточно простых молекулярных системах, таких как тетрапиррольные макроциклические соединения (рис. 1). Однако, природа реакционных центров в тетрапиррольных макроциклах одинакова – это атомы азота пиррольных (пирролениновых) колец в ядре макроцикла, которые способны к кислотно-основным взаимодействиям в растворах. Увеличение концентрации протонов приводит к протонированию иминных атомов азота пирролениновых колец, а уменьшение концентрации протонов – к диссоциации протонов от аминогрупп пиррольных колец [1].

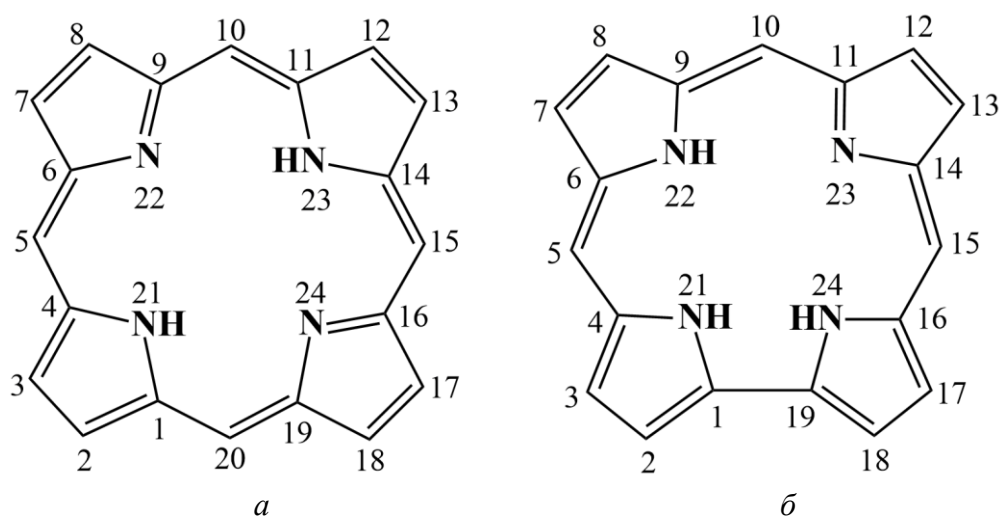


Рисунок 1 – Структура макроциклических тетрапиррольных соединений:

а) свободное основание порфирина; б) свободное основание корролла

Вероятность кислотно-основных взаимодействий в ядре тетрапиррольного макроцикла следует описывать с помощью произведения нескольких функций переменной x . Так, например, формирование дважды протонированной формы из свободного основания порфирина опишем функцией $S = f_1(x) f_2(x)$. Функции $f_1(x)$ и $f_2(x)$ не являются одинаковыми, поскольку между отдельными центрами есть (аллостерическое) кооперативное взаимодействие. В зависимости от архитектуры периферического замещения тетрапиррольного макроцикла величина функции $f_2(x)$ может отличаться на несколько порядков, что в одних случаях приводит к последовательному формированию моно- и дважды протонированных форм (низкая кооперативность реакционных центров), а в других – к практически одновременному присоединению двух протонов и формированию дважды протонированной формы (высокая кооперативность).

Макроцикл свободных оснований порфиринов имеет плоскую структуру и при симметричном периферическом замещении все реак-

ционные центры можно считать эквивалентными, т. е. вид функции $f_i(x)$ одинаков для всех центров. Однако в случае свободных оснований корролов неплоская конформация тетрапиррольного макроцикла обуславливает различную реакционную способность отдельных пиррольных колец и приводит к необходимости назначения собственной функции $f(x)$ для описания протонирования каждого из них. Один из трех протонов в ядре макроцикла коррола может относительно легко диссоциировать с образованием монопротонированной формы. Если депротонирование макроцикла коррола описать с помощью функции $g(x)$, то стабилизация свободного основания коррола будет определяться функцией, представляющей собой линейную комбинацию функций $f(x)$ и $g(x)$.

Очевидно, что в апротонных средах стабилизация свободного основания будет определяться специфическим взаимодействием отдельных центров с молекулами растворителя. Весовые коэффициенты в линейной комбинации двух функций будут определяться количеством пиррольных и пирролениновых колец, которые соотносятся как 3:1 (в нормированной форме 0,75:0,25). Тогда функцию состояния запишем в виде $S = 0,75f(x) + 0,25g(x)$. Если в качестве функций $f(x)$ и $g(x)$ использовать параметры Тафта α и β , которые описывают способность данного растворителя донировать либо акцептировать протон для образования межмолекулярной водородной связи [2], то выражение можно использовать для исследования обнаруженной ранее зависимости состояния ядра макроцикла корролов от свойств растворителя [3]. Анализ полученных результатов показал, что состояние ядра макроцикла действительно описывается предложенной многоцентровой моделью взаимодействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крук Н.Н. Структура и оптические свойства тетрапиррольных соединений. Минск: БГТУ. 2019. С. 216.
2. Linear solvation energy relations / R.W. Taft [et al.] // Journal of Solution Chemistry. 1985. Vol. 14, № 3. P. 153–186.
3. Solvent-Dependent Deprotonation of meso-Pyrimidinylcorroles: Absorption and Fluorescence Studies / M.M. Kruk [et al.] // Journal of Physical Chemistry, A. 2012. Vol. 116, № 44. P. 10704–10711.

ЗАДАЧИ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА ТРУДОВЫЕ РЕСУРСЫ

Классическая задача сетевого планирования (ЗСП) формулируется следующим образом. Задан взвешенный граф-сеть, требуется найти критический путь. Веса дуг интерпретируют длительность (или стоимость) выполнения работ. При решении практических задач возникают ограничения на количество и качество трудовых ресурсов.

В данной работе проведена классификация обобщенных задач сетевого планирования в зависимости от количества работ, количества и производительности работников. Доказаны некоторые утверждения, характерные для типовых задач.

В классической задаче могут задаваться минимальное и максимальное возможные продолжительности работ. В таких случаях для решения задачи используют методы динамического программирования. В случае дискретных весов дуг алгоритмическая сложность значительно возрастает.

На практике особую ценность представляет формирование сетевого плана, основанного на выборе из возможных альтернативных вариантов самого оптимального. В качестве исходных данных в таких задачах задается матрица времён выполнения каждой работы каждым рабочим. Такая задача представляет собой комбинацию задачи о назначении и задачи сетевого планирования. В общем случае можно сделать предположение о возможности выполнения двух и более работ одним рабочим. Решение этой задачи на математическом уровне позволяет выполнять минимизацию сетевого графика по критерию трудовых ресурсов [1].

Классическая ЗСП не допускает мультидуг в сети. Поскольку операцией гомеоморфизма можно разделить дугу на две с узлом посередине, то с целью упрощения изложения в исследуемых задачах допускаются мультидуги (параллельные работы с совпадающими событиями начала и конца работ).

Сформулируем задачу в общем виде. Допустим, что сетевой граф $G(V, E)$ содержит n работ, и в наличии у исполнителя имеется m работников.

Каждому работнику присуща своя производительность для каждой из работ. Эти производительности (длительности выполнения работ) определены матрицей назначений $A = [a_{ij}]_{m,n}$. Целевой функцией данной задачи является критический путь сетевого графика K .

В классической ЗСП предполагается, что работы не простаивают (т.е. трудовой ресурс не является критическим). Практически количество (и качество) трудового ресурса может быть ограничено. Тогда оптимальная длительность выполнения проекта Θ может быть больше чем длина K (обозначим $T(K)$).

В зависимости от количества и качества трудового ресурса выделим 4 типа *модифицированной* ЗСП [2].

1А. $m=n$, a_{ij} - константы по всем i .

2А. $m < n$, a_{ij} - константы по всем i .

1Б. $m = n$, a_{ij} - переменные по i .

2Б. $m < n$, a_{ij} - переменные по i .

Случай 1А эквивалентен классической ЗСП. Нет простоев работ, длительность выполнения проекта $\Theta = T(K)$.

В случае 2А при $m < g$ возможно $\Theta > T(K)$, а при $m \geq g$ всегда $\Theta = T(K)$. Здесь g – наибольшее количество попарно параллельных работ в сети (т. е. могущих выполняться одновременно).

Доказана *Теорема 1*. Для того чтобы время выполнения проекта равнялось длине критического пути соответствующей сети, необходимо и достаточно $m = g$ работников [3]. В соответствии с теоремой 1 случай $m \geq g$ равносильен задаче 1А, т. е. классической ЗСП.

Выведена формула расчета величины g в зависимости от степени узлов для момента наступления каждого события.

Разработан алгоритм 1 расстановки работников на работы, позволяющий получить локально оптимальную длительность выполнения проекта [4].

В случае 1Б задача с переменными весами похожа на задачу об оптимистическом и пессимистическом прогнозе и решается методами динамического программирования. Задача с дискретными переменными весами гораздо сложнее.

Результат решения ЗСП зависит от назначений работников на конкретные работы. Исследована связь оптимального решения ЗСП и оптимального решения задачи о назначениях.

Доказана *Теорема 2*. Расстановка рабочих на работы в соответствии с оптимальным (минимальным) решением задачи о назначениях дает сколь угодно плохое решение задачи сетевого планирования [5].

На примерах продемонстрировано, что при переменных a_{ij} различным назначениям работников будут соответствовать различные решения (критические пути) в одной и той же сети.

Можно привести пример, когда для одних и тех же сети G и величины $m < g$ в случае 2А простой работы неизбежен, а в случае 2Б простая можно избежать. При таких постановках задач в случае 2Б

решением задачи будет длина критического пути графа G , а в случае 2А в сеть G нужно добавлять новые дуги, соответствующие времени простоя, и повторно находить критические пути.

Приведенный пример показывает, что в более сложной задаче 2Б (по количеству перебора всех вариантов назначений работников), критический путь находится за одну итерацию (проход графа) [5]. В случае 2А критический путь нужно искать каждый раз для модифицированной сети.

Для случая 2Б созданы алгоритмы 2 и 3 нахождения локального оптимума [2, 4]. Алгоритм 2 применим для варианта выбора из нескольких работников по принципу самого короткого пути. Алгоритм 3 выбирает вариант из нескольких работ для работника по принципу минимизации времени простоя оставшихся невыполненными работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буснюк Н.Н., Новиков В.А. Метод оптимального решения задачи о назначениях в сетевом планировании // Труды БГТУ. №6(188). – Минск, 2016. – с.170-172.

2. Буснюк Н.Н. Разновидности задачи сетевого планирования, некоторые методы их решения и алгоритмические оценки // Труды БГТУ. №2(224). – Минск, 2019. – с.101-104.

3. Буснюк Н.Н. Критерий количества работников в сети для выполнения проекта без простоев работ // Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и информатика. – Минск: БГТУ, 2021, №1(242). – С. 61–64.

4. Буснюк Н.Н., Новиков В.А. Метод решения задачи сетевого планирования при ограниченных трудовых ресурсах // Труды БГТУ. №2(200). – Минск, 2017. – с.126-128.

5. Буснюк Н.Н. Исследование взаимозависимости стоимости и длительности проекта в сетевых задачах // Труды БГТУ. №1(230). – Минск, 2020. – с.88-91.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИММИТАНСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНОГО МАСЛА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ВЫГОДЫ

Надежность современных машин, механизмов и технологического оборудования определяется процессами, протекающими в трибологических системах, которые можно представить, как «материалы пары трения – смазочный материал» (МПТ-СМ). Данные системы могут характеризоваться коэффициентом трения, прирабатываемостью, износостойкостью, приспособляемостью и самоорганизацией. Поэтому разработка средств и методов контроля состояния системы и процессов, происходящих в ней, является актуальной задачей, решение которой позволит создать теоретические и практические разработки, направленные на повышение надежности механических систем.

В настоящее время повышение надежности механических систем решается путем выбора износостойких конструкционных материалов и подбор к ним смазочных масел. Если вопросы применения износостойких материалов изучались более интенсивно и в этой области достигнуты значительные успехи при проектировании техники, то выбор смазочного материала для различных машин и механизмов, работающих в большом интервале температур, нагрузок и скоростей, относятся к более сложным задачам. Это вызвано тем, что часто в одном механизме применяется одно масло, а узлы трения выполнены из конструкционных материалов с широким диапазоном механических свойств. Кроме того, на рынке существует большое количество масел, применение которых для разных механизмов практически не обосновано.

Процессы, происходящие в трибосистемах, в значительной мере зависят от свойств смазочного материала, которые задаются с помощью их легирования функциональными присадками или их комплектом. Однако при эксплуатации техники, свойства смазочного материала (вязкостные, окислительные, фрикционные, диспергирующие и др.) изменяются вследствие протекания окислительных процессов, температурной и механической деструкций, химических реакций материалов деталей машин с продуктами, образующимися при старении масел.

Процессы, происходящие в системе «МПТ-СМ», в большей мере зависят от степени окисления смазочного материала, а если учесть,

что они более интенсивно протекают на поверхностях трения, за счет более высоких температур и каталитического влияния материалов пар трения, то становится понятным, насколько весома связь и взаимовлияние элементов этой системы на ее надежность [1].

В процессе эксплуатации моторные масла выполняют следующие основные функции:

- обеспечение минимального износа и чистоты узлов трения в широком интервале температур;
- предотвращение коррозии деталей в процессе эксплуатации;
- отвод тепла от трущихся поверхностей и удаление продуктов износа из зоны трения в систему фильтрации.

Ресурс моторных масел является важным эксплуатационным показателем, так как оказывает основное влияние на надежность двигателей внутреннего сгорания. Сроки замены моторного масла при ТО устанавливаются заводами-изготовителями на основе полигонных и моторных испытаний и регламентируется в километрах пробега или мото-часах. При частых доливках масло восстанавливает свои свойства, а значит, ресурс его должен быть увеличен, однако существующая система технического обслуживания этого фактора не учитывает.

Еще одним фактором необходимости определения ресурса моторных масел является появление большого количества минеральных, синтетических и частично синтетических масел. Применение импортных масел без установления их ресурса для конкретных двигателей в существующей системе техобслуживания неэффективно и приводит к увеличению эксплуатационных затрат, так как они не вырабатывают свой ресурс.

Важное влияние на ресурс моторных масел оказывают условия работы, которые характеризуются эксплуатационными и внешними параметрами:

- частыми пусками и прогревом двигателей при эксплуатации в холодное время;
- переменными нагрузочными, скоростными и температурными режимами;
- вибрациями, колебаниями и ударами однократного и многократного действия;
- отклонениями от нормального теплового режима работы.

Нагрузочный режим работы двигателей устанавливается в зависимости от запроектированных температурных параметров и условий эксплуатации транспортных средств. В этом случае сохраняется оптимальный расход ресурса как машины в целом, так и смазывающего материала в частности. Температурный режим работы двигателей яв-

ляется определяющим параметром, влияющим на ресурс применяемого смазочного материала, и оценивается по температуре охлаждающей жидкости и масла на выходе из двигателя. Оценка по тепловому параметру масла производится не на всех транспортных средствах, машинах и механизмах. Вследствие этого основным параметром оценки остается температура охлаждающей жидкости.

Системы смазки пар трения в двигателях по способу подачи масла к трущимся деталям могут быть с подачей масла разбрызгиванием, с непрерывной подачей масла под давлением и комбинированным способом.

При эксплуатации в системе смазки происходят изменения, приводящие к нарушению работоспособности системы.

Основным направлением для увеличения ресурса и надёжности двигателей является организация проведения периодического контроля состояния моторного масла. Вышеизложенное обуславливает актуальность задачи разработки конструкции датчиков и исследованию с их помощью качества моторных масел.

Для определения состояния моторного масла можно использовать параметр изменения его относительной диэлектрической проницаемости $\Delta\epsilon$. Загрязнения, несомненно, будут оказывать влияние на величину параметра $\Delta\epsilon$ [2]. Однако, стоит заметить, что изменение величины диэлектрической проницаемости (ϵ , следовательно, и емкости) в зависимости от срока эксплуатации и загрязненности масел составляет несколько процентов. По этой причине емкость датчика – малоинформативный параметр.

Если представить масло как диэлектрик, то в качестве контролируемого параметра, в настоящее время, используется измерение тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$). Изменение показаний емкостного датчика при этом обусловлено изменением $\text{tg}\delta$ так и емкостью.

Для контроля жидких сред использование ёмкостных ячеек является базовым подходом к созданию датчиков. Эти ячейки позволяют получить конкретную информацию о диэлектрических потерях в жидких средах на основании отклика на различных частотах зондирующего сигнала.

Использование тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$), а также емкости (диэлектрической проницаемости) говорит о загрязненности масла как диэлектрика. Изменение показаний емкостного датчика при этом обусловлено изменением $\text{tg}\delta$ [2]. В качестве регистратора $\text{tg}\delta$ использовался измеритель иммитансных характеристик Е7–25.

Нами были исследованы зависимости $tg\delta$ масла марки M12B2 с использованием конструкций конденсаторов с коаксиальными спиралевидными и плоскопараллельными пластинами, помещенными в жидкую среду при комнатной температуре. Конструкции плоскопараллельного конденсатора имели две разновидности: с сплошными обкладками и обкладками в виде сетки.

Объектами исследования являлись емкостные датчики и электрофизические характеристики моторных масел.

Анализируя результаты нужно отметить, что предельного значения, за время работы моторного масла Маст–ЭкстраДизель в тракторе ХТЗ–17021, достигла только вязкость при наработке 237 часов (увеличение 48,2%) и эксплуатация такого масла не рекомендуется. Дальнейшая эксплуатации показала, что вязкость продолжает увеличиваться, а скорость поступления продуктов износа (железа) в масло остаётся на том же уровне и составила 3,97 мг/ч или 0,16 мг/л израсходованного топлива.

Рост вязкости происходит за счет увеличения продуктов не полного сгорания топлива, продуктов окисления и сажи, о чем свидетельствуют повышенные значения относительной диэлектрической проницаемости, а также необходимо уделить внимание работе топливной аппаратуры.

Для контроля загрязненности масла как диэлектрика используется тангенс угла диэлектрических потерь ($tg\delta$), а также емкости (диэлектрической проницаемости). Изменение показаний емкостного датчика при этом обусловлено изменением $tg\delta$. В качестве регистратора $tg\delta$ использовался измеритель иммитансных характеристик Е7–25 – портативный прибор класса точности 0,15% с широким диапазоном рабочих частот.

Нами были исследованы зависимости $tg\delta$ масла марки M14B2 с использованием конструкций конденсаторов с плоскопараллельными и коаксиальными спиралевидными пластинами, помещенными в жидкую среду при комнатной температуре. Конструкции плоскопараллельного конденсатора имели две разновидности: с сплошными обкладками и обкладками в виде сетки.

Если рассматривать экономическую составляющую данного вопроса, то цена 1-го литра M14B2 около 2,3\$ (на декабрь 2021 года). Стоимость 300 литров масла соответственно будет 690\$. Не учитываем фильтра, работы по замене и утилизации отработанного масла. Если предположить, что данное моторное масло прослужит 32.000 км, то экономическая выгода составит около 6,7%. В денежном эквиваленте это около 48\$.

Подводя итоги, можно смело сказать, что при использовании датчика контроля иммитансных характеристик получить экономическую выгоду в обслуживании двигателей внутреннего сгорания не составит труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берко, А. В. Метод контроля моторных масел по параметрам термоокислительной стабильности и триботехническим характеристикам: Дис. Док.тех.наук: 05.11.13 [Место защиты ТПУ] – 2015. – 164 с.

2. Батурля, И.В. Диэлектрические характеристики моторных масел для силовых агрегатов, измеряемые емкостными датчиками / И. В. Батурля, А. И. Кузьмич, В. В. Баранов, В. А. Петрович, В. Ю. Серенков, С. А. Завацкий, Н. К. Фоменко, Н. С. Ковальчук // Доклады БГУИР. – 2016 – № 3 (97). – С. 103-106.

УДК 003.26

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

ОБЪЕКТЫ JAVASCRIPT. ТОНКОСТИ СОЗДАНИЯ

JavaScript является кроссбраузерным и функционирует во всех операционных системах (windows, mac os и т.д.). В отличие от объектно-ориентированных языков программирования, в JavaScript реализация объектов значительно отличается от привычного функционала и вариаций использования экземпляров, например, в C#.

Поэтому в данном материале будут описаны отличительные черты скриптовых объектов, также, какими способами их можно создать, обновить и удалить. Также будет затронута тема, касающаяся свойств, методов и конструкторов, команд и конечно же немного тема наследования. Что из себя представляет объект в JavaScript и какими возможностями обладает.

В JavaScript объектами являются простые ассоциативные массивы (их также называют хэшами).

Что же такое ассоциативный массив. Это структура данных, в которой хранится какое-то количество информации, относящееся и описывающее определенный элемент. Все данные структурированы и связаны между собой как «ключ =>значение».

К примеру, вам необходимо описать автомобили. Тогда вы создаете объект avto и описываете в массиве его характеристики. При

описании, например, марки машины (name), ее цвета (color) и стоимости (price), код реализации описанного задания будет следующим:

```
var avto = {  
  name: "BMW 116i",  
  color: "black",  
  price: 588000};
```

Представлен один из способов создания объекта с именем «avto». Name, color и price являются ключами, по которым в ходе написания приложения можно будет обращаться.

Создать объект можно несколькими способами:

```
var avto = {}; или var avto = new Object ();
```

В обоих случаях создается пустой объект с известным именем, но первым вариантом пользуются гораздо чаще, так как его короче и удобнее писать.

Опишем теперь понятие свойство в объекте (рис. 1).

При необходимости заполнения пустого объекта параметрами необходимо добавить свойства, которые также выше были названы ключами. И опять-таки существует два способа объявления свойств.

Необходимо отметить, что в JavaScript нет строгих рамок по созданию и инициализации таких параметров. Новые свойства могут появляться на протяжении всего кода, удаляться и обновляться.

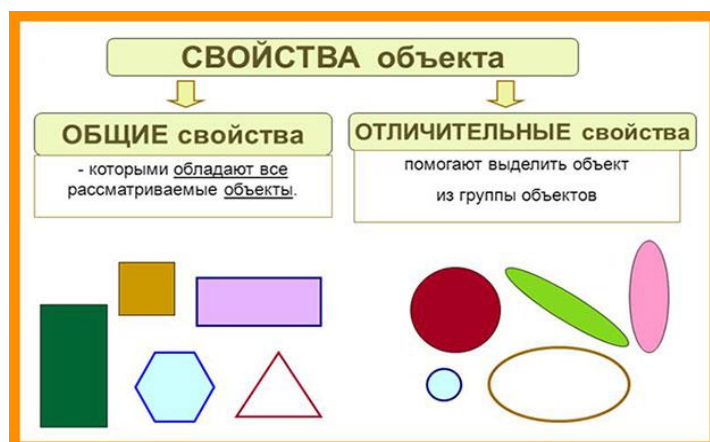


Рисунок 1 – Представление свойств объекта

Таким образом, можно сразу создать все ключи или же объявлять их по мере поступления.

Первый способ. Создание и обращение к свойствам через точку. Для реализации такого варианта нужно написать имя объекта, а после через точку приписать к нему наименование ключа и далее через знак равно присвоить какое-то значение:

```
avto.name = " BMW 116i"
```

А вот в таком способе к существующим ключам вы добавите еще один элемент: avto.count_door = 5. Этот способ используется то-

гда, когда имя свойства уже известно и нужно проделать определенные действия со значениями.

Второй способ. Ничем не отличается от первого, если сравнивать их предназначения. Однако этот способ обладает небольшим преимуществом. Для такого варианта используются квадратные скобки:

```
avto["name"] = " BMW 116i"
```

А приятным добавлением является возможность создавать наименование свойств в виде любой строки. К примеру,

```
avto["name of the car"] = " BMW 116i"
```

Работа с ключами через квадратные скобки используется тогда, когда какие-то параметры вводятся пользователем и хранятся в переменных или, когда заранее неизвестны названия свойств. Например, пользователь запрашивает стоимость выбранного автомобиля. В переменную записывается элемент, который был вызван, а в ответ передается цена:

```
var avto = {};  
avto.name = "BMW_116i";  
avto.price = 588000;  
var key = 'price'; // была запрошена цена машины  
alert( avto[key] );
```

Для удаления свойств используется команда delete. Так, если к последнему примеру снизу дописать вот такие две строки:

```
delete avto.price;  
alert ( avto[key] );
```

Тогда с вызовом alert во второй раз диалоговое окно выдаст «undefined».

На текущем этапе сделано описание, как создать объект и описать его свойства.

Далее опишем, как создавать сразу набор одинаковых объектов и там обязательно пригодиться именно такое представление информации. В JavaScript можно быстро перебрать созданные свойства. Для этого был предусмотрен специальный механизм, известный как цикл.

В JavaScript он напоминает своим внешним видом цикл for each из языка C#. Ознакомьтесь с общим видом конструкции:

for (var obj in object) { // выполнение перебора }, где obj отвечает за название перечисляемых ключей, object – за их значения.

А теперь представим конкретный пример.

```
var avto = {  
  name: "BMW 116i",  
  color: "black",  
  price: 588000  
};  
for (var obj in object) {
```

```
    alert(obj + ':' + object[obj])
  }
```

Если говорить о создании методов в скриптовом языке, то это абсолютно простой механизм. С помощью данного механизма в любое время к любому объекту можно дописать метод или методы, которые расширяют возможности созданных ассоциативных массивов. Их также называют свойствами-функциями.

JS сам по себе очень динамичный язык.

Так, для создания метода, нужно объявить объект, а после начать писать команду, точь-в-точь напоминающую создание свойств. Однако после знака «=» пишется уже не значение, а ключевое слово `function` (переменная). А далее в фигурных скобках ведется перечисление действий.

Вот реализация данного механизма:

```
var avto = {
  avto.name = "BMW"
  avto.year = 1999
  avto.drive = function(k) { alert («Автомобиль
проехал»+n+« км. ») }
  avto.drive(300)
  avto.drive(450)
```

Как видите, этот пример содержит свойства и методы, вызов которых изначально идентичен.

В JavaScript есть еще и конструкторы. В этом языке все, что использует ключевое слово «new», автоматически становится конструктором. Так, выше вы видели объявление пустого объекта в виде: `avto = new Object ();`. Это и есть конструктор.

Для наглядности рассмотрите представленные строки ниже.

```
var bob = new Object ();
bob.name = «Bob Smith»;
bob.age = 20;
```

Однако это не весь арсенал возможностей. В JavaScript можно создавать свои собственные конструкторы и после использовать их для объявления новых объектов. Вдобавок к этому внутри конструктора можно создавать методы.

Обычно во многих языках наследование основывается на классах, которые могут наследовать друг друга. Тогда можно услышать такие выражения, как «класс-предок», «дочерний класс» и т.д.

Однако в JavaScript все иначе. Здесь наследуются объекты.

Все наследование основывается на внутренней ссылке между объектами, которая известна под именем «прототип». Если к методу приписать через точку «.prototype», а далее прописать имя прототипа, то все объекты выбранного метода будут наследоваться от этого прототипа.

НЕКОТОРЫЕ ПРИЕМЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИБЛИОТЕКИ REACTJS

В публикации речь пойдет о наиболее значимых этапах и приемах разработки нового проекта с использованием библиотеки ReactJS.

Перед началом работы программиста над проектом необходимо ознакомиться с техническим заданием. Просмотреть `package.json`, который, как правило, должен содержать в себе информацию о вашем приложении: название, версия, зависимости, скрипты и конфигурацию и тому подобное. Любая директория, в которой есть этот файл, интерпретируется как Node.js-пакет. Далее необходимо отобразить дерево проекта на бумажном носителе/планшете и т.д. или использовать Developer Tools. Таким образом, визуализируем состояние. React Developer Tools – это дополнение к браузеру Google Chrome от компании Фэйсбук, которое служит очень полезным инструментом при работе с React. Дополнение создает еще одну вкладку (React) в Инструментах разработчика (Ctrl+Shift+I), позволяющую произвести инспекцию всего реакт-приложения, включая компоненты, а также их свойства и состояния (state, props).

Затем начинается сам процесс разработки при котором необходимо выполнить следующие действия и следующим образом:

- быстрый переход к компоненту или функции: клик с зажатой клавишей CMD прямо в JSX (VSCode);
- быстрый переход к родителю: CMD+SHIFT+F (глобальный поиск по проекту в VSCode). Искать <Название_компонента>;
- быстрый просмотр списка родителей: React dev tools;
- создать чеклист возможных состояний каждого компонента (ошибка, нет данных и т. д. – полный список);
- для дебаггинга использовать debugger. Также полезен метод `console.assert`;
- работать с фиктивными данными и фиктивным API (json-server, json-graphql-server);
- применить одни и тех же фиктивные данные для Storybook, тестов и фиктивного API;
- передать в функцию объект и использовать деструктурирование для получения именованных параметров. Деструктурировать можно прямо в сигнатуре функции, это позволяет сразу же документировать ожидаемые параметры;
- Storybook driven development – создать и протестировать каждый компонент в отдельности.

Также при разработке важно обращать на моменты, связанные с оформлением проекта, например, соблюдать определенные отступы при оформлении текста, обеспечивать адаптивный дизайн. Можно использовать только выражения, которые что-то возвращают. Для сложной логики есть несколько вариантов:

- ранний return (удобно для ладеров и ошибок);
- выделение логики рендера в отдельную функцию, где можно использовать все возможности Javascript (if/else/switch).

Производительность играет также немаловажную роль. Разработчик может позволить себе некоторые вольности в проекте, т.е. делать то, что удобно. Чаще всего это достаточно хорошо работает. Для этого удобно применять инлайн-функции. Также можно не беспокоиться о рендере. Например, элемент описывает то, что вы хотите увидеть на экране: `const elem = <h1>Hello. World </p1>`.

В отличие от DOM-элементов, элементы React – это простые объекты, не отнимающие много ресурсов. React DOM обновляет DOM, чтобы он соответствовал переданным React-элементам.

Допустим, в вашем HTML-файле есть `<div id="root"></div>`. Мы назовём его «корневым» узлом DOM, так как React DOM будет управлять его содержимым.

Обычно в приложениях, написанных полностью на React, есть только один корневой элемент. При встраивании React в существующее приложение вы можете рендерить во столько независимых корневых элементов, во сколько посчитаете нужным. Также необходимо помнить, что рендер компонента – не равно изменению DOM-дерева. React работает с виртуальным DOM. Процесс применения изменений выглядит так: рендер (render) -> согласование (reconcile) -> применение (commit). Если DOM не изменяется, то и проблем с производительностью не будет, поэтому перестань волноваться о перерендерах. React достаточно умный, чтобы изменять только то, что требует изменения.

Для рендеринга React-элемента в корневой узел DOM необходимо вызвать `ReactDOM.render()` с React-элементом и корневым DOM-узлом в качестве аргументов:

Производительность контекста будет нормальной в том случае, если он будет меняться крайне редко. В любом случае необходимо тестирование для того, чтобы добиться идеальной производительности.

Также не рекомендуется использовать везде, где можно, `useMemo`, `shouldComponentUpdate`, `PureComponent`. Только если это действительно необходимо. У них есть накладные расходы, так как совершаются дополнительные действия. Если бы они были быстрыми, то использовались бы по умолчанию.

При управлении состоянием необходимо «держать» его так низко, как это только возможно. При необходимости поднимать. Также избегать хранить состояние, которое может быть извлечено из другого состояния или пропсов. При работе с объектами обращаться к ним или ссылаться лучше по идентификатору, вместо того, чтобы дублировать их.

Для разрешения конфликтов именования состояния необходимо использовать `_myVar` конвенцию. Нельзя синхронизировать состояния, необходимо извлекать. Например, получай полное имя (full name) путем объединения имени (firstName) и фамилии (lastName) прямо в методе `render`.

Состояния, которые изменяются вместе, должны храниться вместе. В этом помогают редьюсеры. Группируй, используй `useState`. Рассмотрим движки состояний – они описывают валидные состояния, что делает невалидные состояния невозможными (например, новый клиент, у которого уже есть пять прошлых покупок, или админ без прав). Если разделить состояния, они могут рассинхронизироваться.

Возможно при работе с проектом не нужен `Redux`. Пробрасывание пропсов не так страшно, как его описывают. Необходимо сохранять названия пропсов, использовать спред-оператор, передавать «детей» целиком, используй мемоизацию. Контекст и `useReducer` могут справиться практически с любой задачей.

Необходимо вызывать `setLoading(false)` в блоке `finally`.

Сделать все пропсы обязательными. Деструктурировать пропсы в сигнатуре функции, чтобы уменьшить количество кода. Это также полезно для обработчиков событий. Но что насчет пропсов, в имени которых есть дефис типа `aria-label`. Просто использовать синтаксис `...otherProps`. Сделать пропсы максимально специфичными.

Использовать стандартизированное наименование. `onX` для пропсов-обработчиков событий, `handleX` – для функций. Хранить `propTypes` в одном месте. Документировать `propTypes` с помощью `JSDoc`-комментариев, они будут выводиться в автокомплите редактора. Можно даже использовать `markdown`. Чтобы уменьшить проблему пробрасывания пропсов, необходимо использовать спред-оператор или передавать дочерние элементы. Само существование пропса предполагает, что он равен `true`. Поэтому достаточно написать `<Input required />`.

Держись ближе к нативному API. В обработчики передавай событие целиком, а не только значение инпута. Тогда ты сможешь использовать единый обработчик изменений. Придерживайся нативных имен (`onBlur`, `onChange`). Стремись к максимальной гибкости и минимальной кривой обучения.

Что касается стилей в React, то рекомендуется сочетать разные подходы:

- инлайн-стили для динамически изменяющихся свойств;
- пространства имен (CSS-модули);
- Sass для глобальных стилей;
- используй классы, чтобы применять несколько стилей сразу;
- используй flexbox или CSS Grid вместо float;
- создавай абстракции для брейкпоинтов (например, используй bootstrap).

Для простого переиспользования компонентов существуют три ключевых правила. Необходимо подумать о том, чтобы выделить на это отдельного человека/команду. На что это влияет и для чего это необходимо: скорость работы, быстрее и проще принимать решения, меньше бандлы (Bundle (англ. Пучок) – это совокупность каких-либо программных данных (файлов), объединенных по какому-либо признаку).

Слаженность в интерфейсе ведет к хорошему пользовательскому опыту. Меньше кода – меньше багов. В процессе тестирования необходимо учитывать следующие факторы:

- RTL лучше Enzyme. Чем проще API, тем лучше. Поощряет all you. Проще отлаживать. Можно использовать те же запросы для Cypress;
- JSDOM не рендерит, поэтому не может тестировать адаптивный дизайн. Используй Cypress для теста адаптивного поведения;
- избегай снэпшот-тестов Jest. Вместо этого используй Percy или Chromatic для визуальных тестов;
- используй шаблон выбора сценариев для запуска приложения с различными данными. Автоматизировать эти тесты можно с помощью Cypress/Selenium;
- при использовании Cypress Cy-селекторы совпадают с RTL-селекторам – не нужно менять код для поддержки тестов Cypress;
- Cypress driven development – TDD для интеграционных тестов. Используй Cypress, чтобы перейти к месту, которое нужно проверить. Используй cy.only чтобы запустить один тест. В первый раз он должен упасть, это пройдет.

В данном материале описаны лишь некоторые рекомендации для работы с библиотекой ReactJS, которые направлены на оптимизацию работы и облегчению труда команды разработчиков. Т.е. применив на практике описанные приемы, и взяв их за правило, можно добиться увеличения скорости и качества исполнения поставленных задач.

АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ АКТИВНОСТИ

В мире разработки современного программного обеспечения понятие аналитической утилиты давно стало бизнес-требованием, ведь анализ и дальнейшее прогнозирование пользовательской активности в тех или иных частях продукта помогает явным образом влиять на оценочную стоимость всей системы.

Если обобщить понятие аналитики современных веб и мобильных приложений, то оно формулируется как процесс анализа, прогнозирования и выявления тенденций измеряемых критериев на основании аналитических данных. Зачастую источником аналитических данных является сам продукт или приложение, в которое встраивается дополнительное программное обеспечение целью которого является сбор и передачи информационных блоков. Подобный информационный блок может содержать информацию о способе взаимодействия пользователя с приложением, времени совершения того или иного события, а также дополнительные нагрузочные параметры, определенные бизнес-требованиями.

Поскольку одной из ключевых целей сбора аналитической информации является дальнейшее прогнозирование пользовательской активности, то есть выявление паттернов и алгоритмов взаимодействия пользователя с программным продуктом, то одним из наиболее важных этапов настройки аналитических утилит является выбор актуальных для данной конкретной системы критериев анализа. Среди общих критериев можно отметить:

1. Количество активных пользователей на заданном этапе, как правило это дневные, месячные или квартальные показатели;
2. Коэффициент удержания или цифровое представление уровня конкурентоспособности продукта;
3. Местоположения и места пребывания основной аудитории и непосредственных пользователей.

Основная часть аналитических утилит доступных для использования предоставляет возможность работы с приведенными критериями, но каждая из такого рода платформ имеет свои особенности.

Среди наиболее популярных стоит отметить Google Firebase, Mixpanel а также Flurry. Каждая платформа предоставляет широкий набор аналитических инструментов, но тем не менее основным критерием в пользу выбора той или иной являются уникальные особенности система. Например, Google Firebase станет отличным решением

если программное средство поддерживает или взаимодействует с другими элементами платформы, Mixpanel может стать оптимальным решением если требованием является максимально гибкая настройка, а ориентированность Flurry на мобильные операционные системы позволяет продуктивно её использовать в мобильных решениях.

В общем случае модель любой аналитической системы строится на основании одного или нескольких алгоритмов анализа. Как правило данные алгоритмы реализуются на уровне хранилища аналитических данных. Так, например, программное средство SQL Server, поддерживает следующие алгоритмы:

1. Алгоритмы классификации, осуществляющие прогнозирование одной или нескольких дискретных переменных на основе других атрибутов в наборе данных;

2. Регрессивные алгоритмы, которые могут осуществлять прогнозирование одной или нескольких непрерывных числовых переменных, например, прибыли или убытков, на основе других атрибутов в наборе данных;

3. Алгоритмы сегментации, необходимые для деления данных на группы или кластеры элементов, имеющих схожие свойства;

4. Алгоритмы взаимосвязей, с помощью которых можно осуществлять поиск корреляции между различными атрибутами в наборе данных. Наиболее частым применением этого типа алгоритма является создание правил взаимосвязи, которые могут использоваться для анализа потребительской корзины;

5. Алгоритмы анализа последовательностей, которые обобщают часто встречающиеся в данных последовательности, такие как серия переходов по веб-сайту или событий, зарегистрированных в журнале перед ремонтом оборудования.

Ввиду специфичности задачи анализа пользовательской активности, на практике часто используются комбинации нескольких методов, то есть в общем случае идеальных решений в данной области нет. Тем не менее, на основании комбинаций алгоритмов анализа данных можно сформировать формулу расчета коэффициентов для данного специфичного продукта или системы. Данная формула может содержать неограниченное количество входных параметров, для анализа определения которых могут использоваться любые системы.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ АЛГОРИТМОВ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ НТТР-ЗАПРОСОВ

Развитие и внедрение в повседневную жизнь человека информационных технологий обусловило резкое увеличение числа запросов на обработку и увеличение нагрузки на серверы. Поскольку нагрузка постоянно растет, задачи балансировки приобретают все более важное значение для повышения эффективности информационных систем. Не менее важной задачей является оценка алгоритмов балансировки нагрузки для того, чтобы понимать, насколько эффективен тот или иной алгоритм балансировки нагрузки.

Для анализа эффективности алгоритмов балансировки нагрузки была разработана математическая модель программной системы с микросервисной архитектурой.

Эта система включает три типа компонентов: клиенты ($C_j, j = 1, j$), серверы ($S_i, i = 1, i$) и балансировщик нагрузки (B).

Балансировщик нагрузки – это программная компонента, которая является промежуточным звеном между клиентами и серверами: он принимает запросы от клиентов и перенаправляет их серверам и, наоборот, принимает ответы от серверов и отправляет соответствующим клиентам. В запросах и ответах, помимо основной информации, содержится дополнительная информация (α и β), которая может быть использована для управления поведением сервера и балансировщика.

Если кратко рассматривать математическую модель, то всю программную систему можно описать соотношением:

$$W = \{C_j, j = 1, j\}, \{K_l, l = 1, l\}, B, \{S_i, i = 1, i\},$$

где $C_j, j = 1, j$ – множество клиентов; $K_l, l = 1, l$ – множество категорий запросов (величина, характеризующая относительную трудоемкость обработки запроса); B – балансировщик; $S_i, i = 1, i$ – множество серверов.

Критерием эффективности алгоритма балансировки нагрузки было принято отношение:

$$\frac{M(t)}{L(t)},$$

где $L(t)$ – количество поступивших в балансировщик запросов; $M(t)$ – количество поступивших в балансировщик ответов к заданному моменту времени t .

При этом предполагается, что чем это отношение ближе к 1, тем более эффективным считается алгоритм.

В общем случае, эффективность алгоритма балансировки нагрузки зависит от конфигурации программной системы (количество серверов и их производительность, интенсивность клиентских запросов и их трудоемкость и т. д.) и может изменяться в течение времени.

Для оценки $E_A(t)$ эффективности алгоритма балансировки нагрузки A удобно иметь оценки нижней $\underline{E}(t)$ и верхней $\overline{E}(t)$ границ эффективности алгоритмов балансировки нагрузки, вычисленные при заданных условиях:

$$P = \langle \{C_j, j = 1, j\}, \{K_l, l = 1, l\}, \{S_i, i = 1, i\} \rangle,$$

Нижняя граница $\underline{E}(t) \equiv 0$ малоинформативная, поэтому в качестве оценки нижней границы целесообразно выбрать эффективность какого-нибудь известного и простого алгоритма, например, Round Robin.

Теоретический максимум $\overline{E}_P(t)$ эффективности на заданном участке времени $[0, t_e]$ при заданных условиях P может быть достигнут алгоритмом A в том случае, если он может предсказать моменты времени и трудоемкости поступающих от клиентов запросов, а также производительности серверов и моменты завершения обработки серверами запросов.

В этом случае, задача вычисления функции $\overline{E}_P(t)$ сводится к задачам поиска и анализа планов распределения между серверами поступающих от клиентов запросов. Таким образом, вычисление точных границ $\underline{E}_P(t)$ и $\overline{E}_P(t)$ при заданных условиях P на отрезке времени $[0, t]$ сводится к трем задачам:

– построение множества $\Pi = \{ \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_k \}$ всех рациональных планов;

– анализ функций эффективности $\varepsilon_i(t) = \frac{M_i(t)}{L_i(t)}, i = \overline{1, k}, t \in [0, t]$ планов;

– построение функций $\overline{E}_P(t) = \max_i \varepsilon_i(t)$ и $\underline{E}_P(t) = \min_i \varepsilon_i(t)$ для получения точных границ.

Предложенный метод вычисления точных границ эффективности алгоритмов балансировки нагрузки, предполагает, что помимо конфигурации программной системы, известна последовательность

(во времени) запросов и их трудоемкость. В реальных условиях может быть известна только конфигурация и в лучшем случае интенсивности запросов по категориям трудоемкости их обслуживания.

Алгоритм для вычисления границ имеет экспоненциальную сложность от времени t и является трудно разрешимым для реальных конфигураций программных систем.

Кроме того, как правило, интерес представляет эффективность программной системы в установившемся режиме, стабилизация работы которой может занимать достаточно продолжительный интервал времени. Все это делает непригодным применение предложенного метода для оценки эффективности алгоритмов балансировки нагрузки в инженерных задачах, когда требуется оценить эффективность существующей программной системы.

Оценка эффективности в таких случаях, как правило, осуществляется с помощью нагрузочного тестирования, которое позволяет на основе собранной статистики получить обоснованную оценку.

УДК 004.41

Д.К. Добыш, маг.; Н.Н. Пустовалова, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

РЕГИСТРАЦИЯ ПОЧТОВЫХ ОТПРАВЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ВЕБ-СЕРВИСА

В настоящее время почта является одним из основных способов доставки товаров из любой точки мира до конечного потребителя. Сервис почтовых отправлений служит человечеству на протяжении нескольких веков, но только с развитием сети Интернет в почтовых службах стали разрабатываться онлайн сервисы, с помощью которых каждый желающий может узнать, где находится посылка в данный момент.

Современная технология пересылки подразумевает присвоение регистрируемому почтовому отправлению уникального почтового идентификатора. На каждом этапе пересылки информация почтового идентификатора заносится в единую систему учёта и контроля, благодаря чему можно отследить прохождение почтового отправления через Интернет.

В данной работе объектом автоматизации явился процесс идентификации и прослеживаемости регистрируемых почтовых отправлений в республике Беларусь.

Для реализации алгоритма регистрации почтовых отправлений были использованы различные программные средства: HTML, CSS, MySQL, PHP, Apache, в том числе framework Angular.

Angular представляет собой фреймворк от компании Google для создания клиентских приложений и нацелен на разработку SPA-решений (Single Page Application), то есть одностраничных приложений.

Одной из ключевых особенностей Angular является то, что он использует в качестве языка программирования TypeScript.

TypeScript представляет язык программирования на основе JavaScript. Язык реализует многие концепции, которые свойственны объектно-ориентированным языкам, такие, например, как наследование, полиморфизм, инкапсуляция и модификаторы доступа и так далее.

Потенциал языка TypeScript позволяет быстрее и проще писать большие сложные комплексные программы, соответственно их легче поддерживать, развивать, масштабировать и тестировать, чем на стандартном JavaScript.

Кроме того, он является кроссплатформенным, а это значит, что для разработки можно использовать как Windows, так и MacOS или Linux. В то же время TypeScript является надмножеством JavaScript, а это значит, что любая программа на JS является программой на TypeScript.

Фреймворк Angular позиционируется как законченное решение в разработке веб-приложений. Это означает, что он является целостным комплексом и с его помощью можно успешно разрабатывать CRUD-приложения. Angular имеет средства для работы с пользовательскими формами ввода данных, а также для доступа к веб-камере мобильного телефона и обработки отсканированных QR-кодов.

Разработанный на основе выбранных программных средств веб-сервис регистрации почтовых отправлений обеспечил повышение качества предоставляемых почтовых услуг, сокращение времени на обработку почтовых отправлений, уменьшение трудозатрат за счет автоматизации выписки сопроводительной документации на пересылаемые почтовые отправления, постепенный переход к безбумажной почтовой технологии.

Таким образом, реализована автоматизация контроля сроков прохождения регистрируемых почтовых отправлений и нормативов обработки, перевозки, доставки почтовых отправлений и информирование пользователей услуг почтовой связи о прохождении принадлежащих им почтовых отправлений в режиме, приближенном к реальному времени.

Статистика работы показывает, что имеет место система с большой нагрузкой, поэтому для ее реализации необходимо проектирование распределенной модели. В то же время отслеживание почтовых отправок не является критическим сервисом, таким как финансовые транзакции или управление безопасностью, поэтому выполнением требований ACID, в частности мгновенной согласованности можно пренебречь в пользу оптимизации стоимости создания и владения автоматизированной системой, т. е. не приобретать дорогой мощный сервер для СУБД, а разработать модель распределенного хранения данных.

Система включает веб-сервис регистрации почтовых отправок. Отдельным узлом представлен веб-сервис слеживания за почтовыми отправлениями, на который поступают данные от промежуточных узлов доставки с помощью приложения слежения. На сервере отделения выдачи хранится информация о поступивших в данное отделение почтовых отправлениях и происходит их обработка, включая передачу информации о статусе на веб-сервис слежения.

Предлагаемая архитектура системы представлена на рис. 1.

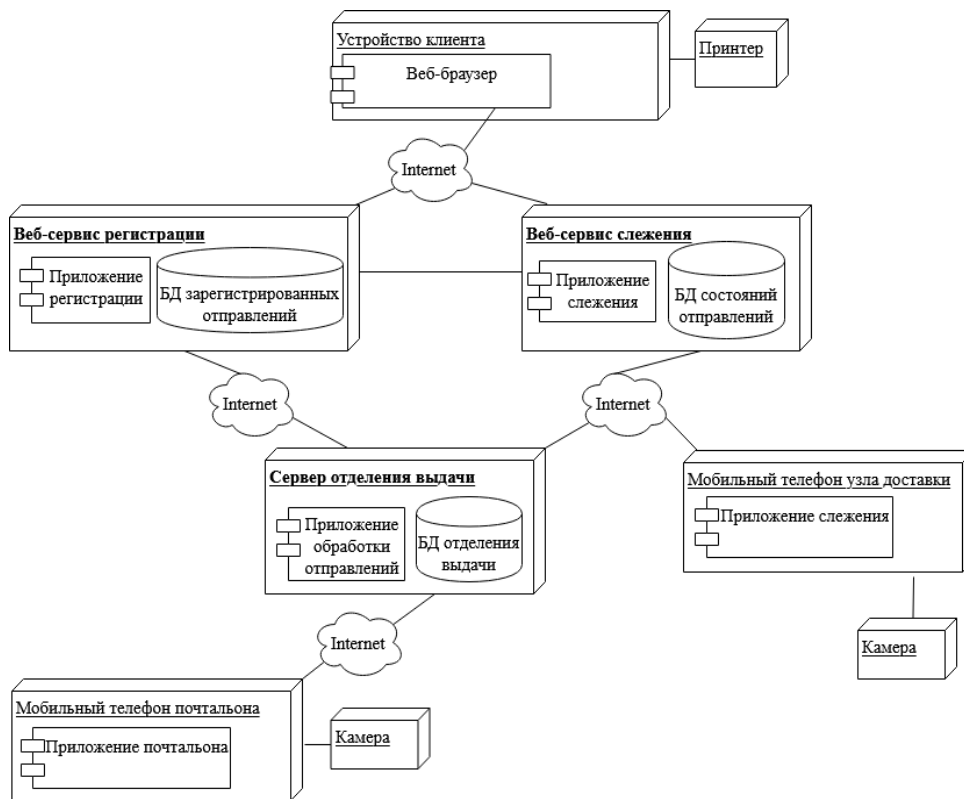


Рисунок 1 – Архитектура системы учета и контроля почтовых отправок

Удаленным клиентом является приложение почтальона. При регистрации отправлению присваивается трек-номер, данные сохраняются в базе веб-сервиса регистрации, пользователь распечатывает ад-

ресный бланк и наклеивает его на отправление, а также в базе веб-сервиса слеживания создается запись об отправлении с указанием трек-номера. В промежуточных узлах доставки с помощью приложения на мобильном телефоне сканируют и накапливают идентификаторы поступивших к ним отправлений, периодически отсылая пакетно информацию об их статусе на веб-сервис слеживания.

При поступлении почтового отправления в пункт выдачи, информация о нем пересылается из базы веб-сервиса регистрации в базу сервера отделения выдачи, где происходит его дальнейшая обработка. У каждого отделения выдачи свой сервер, доступ к большинству информации закрыт извне, кроме информации, требуемой приложению почтальона в месте выдачи за пределами отделения, что повышает безопасность системы.

УДК 004.056

Н.В. Ржеутская, асп.
(БГТУ, г. Минск)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Компьютерное тестирование знаний студентов удачно дополняет традиционные методы контроля знаний. В рамках данной работы были рассмотрены два типа систем компьютерного тестирования: коробочные и облачные. Коробочные устанавливают на сервер компании, а облачные работают через интернет – достаточно создать аккаунт.

Основопологающей задачей тестирующих программ является проверка знаний учащихся. В данной работе рассмотрены 12 наиболее используемых в текущий момент времени программных продуктов. Кратко прокомментируем каждый из них.

TestMaker – это целый комплекс для создания и проведения электронного тестирования. Основное достоинство системы TestMaker – наличие бесплатной версии программы.

Недостатки системы TestMaker:

1. нет возможности построения отчетов по результатам тестирования;
2. нет возможности просмотра теоретической части перед прохождением тестирования;
3. отсутствие системы управления пользователей;
4. сложная система создания одного из типов заданий с помощью "Конструктора вопросов".

RichTest – это пакет программ, который состоит из трех модулей: админ, клиент и отчеты.

Недостатки системы RichTest:

1. отсутствие возможности создания вопроса типа расширенный ответ;
2. отсутствие возможности запуска теста из конструктора.

UniTest System – пакет программ, который способен работать как локально, так и по сети. Данная программа имеет приятный интерфейс программных модулей, однако отсутствует система управления пользователями и цельность системы защиты от фальсификации результатов.

Среда тестирования Hyper Test version 2.0 успешно используется с 2001 года. Востребованность программы связана с несомненными достоинствами: базы могут содержать до 1024 вопросов; количество ответов на вопрос – не более 20; возможен выбор нескольких ответов при тестировании; возврат к не отвеченным вопросам.

Выводы по программе: благодаря простому и понятному интерфейсу программа обеспечивает быстрое освоение оболочки тестируемым. Реализованная форма проведения тестов покрывает большую часть потребностей в данном виде контроля, что обуславливает возможность широкого распространения данной программы.

Однако, чтобы стать полноценным инструментом в руках преподавателя, ей не хватает ряда функциональных особенностей, связанных с управлением пользователями, результатами их тестирования и системы подготовки тестовых заданий.

SunRav TestOfficePro – целый комплекс для контроля и проверки знаний, включающий в себя несколько модулей. Данная программа внесена в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. Но для программы подобного уровня недостает качественно подготовленной методической части в виде инструкции и большего количества тестов различной направленности.

Недостатки программы:

1. небольшое количество типов вариантов ответа (например, на последовательность);
2. достаточно простая, для комплекса такого уровня, система выставления отметок;
3. невозможность присвоения весовых коэффициентов ответам в случае, если тест не психологический (ответ может быть только верным или неверным).

Этот программный комплекс оставляет одно из самых благоприятных впечатлений.

VeralTest Express – мощный и удобный конструктор тестов. Применяется в различных организациях не только для тестирования, но и для аттестации сотрудников. Состоит из редактора тестов и программы для просмотра результатов тестирования. VeralTest является условно-бесплатной программой с ограничением на 30 дней. Ее разработчиком является компания VeralSoft.

Достоинства:

1. гибкость и скорость.
2. простота и широкие возможности.
3. открытость.
4. доступность.

Ассистент II – это программа для проверки знаний учащихся.

Особое внимание уделено защите системы против несанкционированного просмотра и защиты авторских прав на материалы тестов.

Недостаток – при работе на Windows Vista не всегда сохраняется статистика тестирования.

eTest – программный комплекс для подготовки и проведения тестов. Скомпонованные тесты используются не только для проведения тестирования, но и для самостоятельного использования студентами в процессе обучения.

На сегодняшний день система eTest успешно используется в Белорусском государственном медицинском университете.

В бесплатно распространяемой версии предусмотрена возможность только локального тестирования с возможностью просмотра результатов по окончании тестирования на компьютере учащегося.

MyTest X – система программ для создания и проведения компьютерного тестирования, сбора и анализа результатов, выставления оценки по указанной в тесте шкале.

Программа MyTestXPro работает с десятью типами заданий:

Программа MyTest X распространяется бесплатно.

Программа разрабатывается с 2003 года и прошла долгий путь развития от простой оболочки для проведения простых тестов до мощного и удобного комплекса программ. Текущая актуальная версия программы MyTestXPro 11.0.

Moodle – система управления курсами, также известная как система управления обучением или виртуальная обучающая среда. Moodle имеет ряд достоинств, главным из которых является бесплатное распространение.

Недостатки платформы Moodle:

1. отсутствие технической поддержки;
2. дизайн решения из коробки;
3. отсутствие профессиональной технической поддержки;
4. необходимость собирать систему с нуля;
5. сложность системы;
6. требует технических компетенций в области веб-разработки от преподавателя.

Используемая в БГТУ платформа **Microsoft Teams** также включает в себя тестирование. Однако имеется и ряд недостатков:

1. По отзывам многих пользователей платформа работает неравно, долго и некорректно загружает файлы, может вывести из строя всю систему устройства.

2. Не самый простой функционал.

3. Из-за большого количества функции платформы не сразу удастся разобраться в ее работе.

Система тестирования INDIGO – это отличный инструмент для проведения тестирования. Данная программа включена в Единый реестр российских программ для ЭВМ и баз данных. Программа имеет отлично спроектированную базу данных.

Поддержку различных web-браузеров, а также адаптивный интерфейс и многоязычный пользовательский web-интерфейс.

Все выше перечисленные программы были оценены на основании стандарта ISO/IEC 9126. Были составлены шесть таблиц и проведена итоговая сравнительная характеристика по следующим критериям:

- 1 Функциональность (функциональная исправность; соответствие стандартам; функциональная совместимость; безопасность; точность). Все программы соответствуют требованиям стандарта.

- 2 Надёжность (завершённость; восстанавливаемость включает в себя наличие системы резервного копирования; а также сохранение тестов в отдельном файле; устойчивость к отказам). По данным критериям лидируют программы TestMaker, Assistant II и Moodle.

- 3 Удобство использования. (легкость изучения; понятность (наличие готовых шаблонов тестов; наличие развернутой справочной системы); удобство и простота использования (наличие меню создания теста; работа с графикой и звуком; возможность автоматического оценивания ответа; задание сроков ответов на вопросы; наличие функции определения времени ответа на вопросы; ограничение времени ответ на каждый вопрос; возможность деления вопросов по уровням сложности)).

4 Эффективность. (эффективность по времени; эффективность использования ресурсов). Эффективность использования ресурсов в некоторых программах неоднозначна за счет способов установки программ.

5 В разделе Удобство сопровождения выделено три пункта стабильность, анализируемость и изменяемость.

6 Последний раздел Портативность включает в себя удобство установки; заменяемость; совместимость и наличие сетевой версии.

Заключение. При сравнении программных продуктов выяснилось, что все они обладают высокой функциональностью, надежностью и валидностью. Недостатками программных продуктов Test Maker, HyperTest, Assistant II является возможность создания тестов только на выбор одного или нескольких правильных ответов и сложность установки. Программы INDIGO, Microsoft Teams, eTest и Moodle сложны в изучении для пользователя программных продуктов, однако это компенсируется большим количеством методических разработок по этим программам. Перспективным направлением дальнейших исследований является содержательный анализ самих тестовых заданий с точки зрения их валидности и надёжности при включении в фонд оценочных средств.

В настоящее время выбор инструментальных средств для проектирования и разработки программных сред для тестирования очень широк. Что касается программ, рассмотренных в данной работе, можно выделить общие достоинства и недостатки в целом:

1. В настоящее время выбор инструментальных средств для проектирования и разработки программных сред для тестирования очень широк. Что касается программ, рассмотренных в данной работе, можно выделить общие достоинства и недостатки в целом:

2. Высокий уровень функциональности в соответствии с принятыми стандартами;

3. Эффективность использования времени и затраченных ресурсов;

4. Совместимость программного обеспечения;

5. Наличие сетевых версий и удобство использования;

6. Высокая степень защиты.

Минусы:

1. Отсутствие адаптивности под различные сферы аттестации;

2. Также самым главным недостатком во всех рассмотренных в данной статье программах остается невозможность отслеживания процесса списывания при проведении удаленного тестирования студентов.

СОЗДАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО АДАПТИВНОГО АССЕТА ЕЛИ ДЛЯ СРЕДЫ UNITY

Для прогнозирования различных чрезвычайных ситуаций в лесных массивах и на залесенных парковых и производственных территориях важно иметь визуализацию интерактивной модели развития отдельного дерева. В работе предлагается решение этой задачи на основе создания и использования динамических ассетов дерева для различных пород и условий произрастания.

При создании динамического ассета для визуализации дерева необходимо рассмотреть закономерности произрастания дерева естественной среде. В частности, до возраста 10 лет ель растет очень медленно, в первые пять лет после посадки ель прибавляет в росте по 6-9 сантиметров в год и в пятилетнем возрасте вырастает всего до 30-50 сантиметров в высоту и с диаметром кроны в 30 сантиметров. Предельной высоты взрослое дерево этого вида достигает в 40–60 лет. Именно в таком возрасте у ели наступает зрелость. В целом же она может произрастать на протяжении 250–300 лет [1]. Лучше растет во влажной почве. Предпочитает песчаные и кислые почвы. Ветвление дерева ели моноподиальное. В результате у деревьев формируется высокий прямой ствол и ветвление, описанное подробно в работе Матюхина [2]. К факторам, существенно влияющим на рост ели, обычно относят климат местности произрастания, освещенность участка посадки и почву, на которой произрастает материал. Математически моноподиальная модель была описана Хондой [3] через L-системы и относится к категории простых. Геометрическая интерпретация представлена на рис. 1. На основании параметров, принятых в модели Хонда, при помощи программ для трехмерного моделирования Blender и 3Ds Max и их инструментария производится погодная визуализация саженца ели на разных этапах его развития. Исходя из вышеописанной модели и внося некоторые корректировки для большей реалистичности результата, получаем модели ели на разных этапах развития. Например, в возрасте 5 лет (рис. 2) и 10 лет (рис. 3).

Динамический ассет растущего дерева можно рассматривать как массив или коллекцию префабов, построенных в графическом редакторе для каждого года его развития и внедренных в проект Unity, которые затем вызываются на сцену в заданный момент времени соответствующей командой.

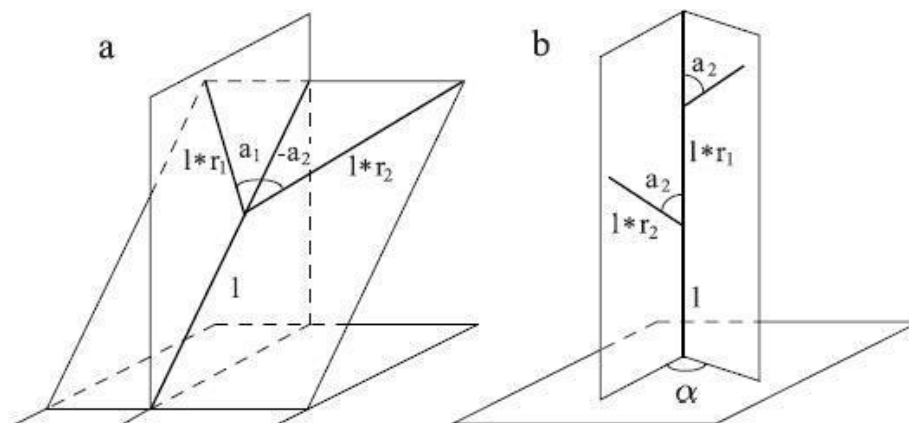


Рисунок 1 – Геометрическая интерпретация модели ветвления Хонды



Рисунок 2 – Дерево в возрасте 5 лет



Рисунок 3 – Дерево в возрасте 10 лет

Ассет бандл (Asset Bundle) – это внешняя коллекция ассетов [4]. Вы можете иметь множество ассет бандлов и, следовательно, множество внешних коллекций ассетов, созданных в Blender или 3Ds Max. Эти файлы существуют вне проигрывателя, созданного Unity, обычно размещаются на веб-сервере для динамического доступа. Бандл – это, по сути, архив с ресурсами Unity, которые можно использовать в уже работающем проекте.

Чтобы собрать ассет бандл, вызывается метод `BuildPipeline.BuildAssetBundle()`. В аргументах метода указывается массив объектов для включения в бандл, и некоторые другие опции. Этот метод собирает файл, который потом можно динамически загружать в реальном времени с помощью метода `AssetBundle.Load()`. Коллекция динамического ассета в последствии может бы настроена таким образом, чтобы формировать итоговый ассет исходя из заданных изначально параметров через таблицу их значений.

Выбор результата роста ассета в зависимости от основных условий произрастания представляется в виде таблицы по годам и степени выраженности каждого фактора. Пользователь, выбирая нужные параметры из таблицы по годам, может отобразить нужный ассет на дан-

ном этапе развития при заданных им условиях. Система взаимосвязей в таком архиве ассетов имеет древовидную структуру для перехода между параметрами по годам со взаимовлияющими параметрами.

Таким образом, динамический ассет предоставляет возможность визуализации роста дерева в различных условиях, что можно использовать в различных системах прогнозирования развития лесных массивов. Динамическая визуализация развития дерева в данном случае важна для более полного, детального анализа хода роста дерева с учетом среды произрастания и последствий воздействия на него внешних условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Темпы роста ели [Электронный ресурс] – URL: <https://fermer.blog/bok/hvoynye-derevya/el/botanika-eli/14162-kak-rastet-el.html> – Дата доступа: 21.12.21.
2. Матюхин Д. Л. Системы элементарных монометрических побегов у хвойных / Д. Л. Матюхин // Известия ТСХА, выпуск 1, 2012.
3. Prusinkiewicz P., Lindenmayer A. The Algorithmic Beauty of Plants // P. Prusinkiewicz, A. Lindenmayer. USA: Springer-Verlad. – 1990.
4. Asset Bundle.Unity Documentation [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/AssetBundlesIntro.html> – Дата доступа: 21.12.21.

УДК 004.051

В.С. Кантарович, ассист.; Н.И. Гурин, доц., канд. физ.-мат. наук
(БГТУ, г. Минск)

ДИНАМИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДРЕВОСТОЯ В ПРОЦЕССАХ ЛЕСОВЫРАЩИВАНИЯ

В работе рассматривается трёхмерная визуализация развития одновозрастного чистого древостоя сосны – одной из двух хвойных пород, наиболее распространенных в Беларуси: сосны и ели. Выделяют ряд последовательных этапов в развитии древостоя [1]:

1. Прорастание семян и развитие всходов древесных пород.
2. Индивидуальное развитие дерева в раннем возрасте.
3. Смыкание крон деревьев и образование насаждения. При благоприятных условиях смыкание крон может произойти в возрасте 5-10 лет, при неблагоприятных – затянуться до 20-25 лет.
4. Интенсивный рост деревьев в насаждении.
5. Спелость в возрасте 80-160 лет у хвойных деревьев.

6. Отмирание деревьев и исчезновение поколения деревьев.

При визуализации модели развития древостоя исходным этапом является размещение отдельных деревьев на заданной площади. В искусственных посадках размещение саженцев деревьев определяется разработанными методиками на основе принятых стандартов в лесном хозяйстве. Именно такую схему мы принимаем в нашей начальной модели визуализации развития древостоя. В дальнейшем предполагается использовать математические модели для расчета схем размещения деревьев в древостое на заданной площади для естественных древостоев заданного возраста.

На этапе смыкания крон развития древостоя резко увеличивается его влияние на окружающую среду, а сами деревья начинают влиять друг на друга. Таким образом, в насаждении появляется конкуренция между деревьями за свет, влагу и питательные вещества почвы. Конкуренция между деревьями является основной причиной отпада деревьев. Более крупные, быстро растущие деревья образуют господствующую часть полога, а более мелкие, отставшие в росте – подчинённую.

В работе производится трёхмерная визуализация модели динамики развития древостоя после проведения рубок ухода, равномерно-постепенных рубок главного пользования и рубок главного пользования в зависимости от возраста преобладающей породы на выбранном участке для вырубki. При этом после проведения каждой рубки моделируется рост и развитие деревьев в древостое в новых условиях до возраста следующей рубки. Визуализация древостоя производится для следующих этапов: индивидуальное развитие дерева после посадки в возрасте 10 лет; смыкания крон – третий этап развития в возрасте 20 лет; после постепенных рубок через каждые 20 лет до возраста проведения рубки главного пользования в возрасте 80 лет.

Разработка моделей трёхмерной визуализации деревьев в древостое на заданной площади для перечисленных выше этапов развития древостоя производится при помощи программных средств редактора трёхмерной компьютерной графики Blender.

При разработке трёхмерной модели визуализации дерева сосны необходимо обратить внимание на её отличительные признаки, такие как овальная крона, ветви не закрывают ствол и направлены вверх, длинная мягкая хвоя. Кроме того, учитывались такие характеристики как количество ветвей, высота и толщина ствола, расстояние между началом ствола и ветвями, а также основные характеристики хвои – размеры и количество. Спроектированная модель сосны на втором этапе своего развития представлена на рис. 1, возраст её 10 лет и до-

стигает она высоты 4 метра с диаметром ствола 0,2 метра. На рис. 2 изображена смоделированная сосна на четвёртом этапе своего развития после смыкания крон, возраст её 50 лет, высота 17 метров.



Рисунок 1 – Визуализация дерева сосны на втором этапе своего развития



Рисунок 2 – Визуализация дерева сосны на четвёртом этапе своего развития

Сравнение размера двух смоделированных деревьев сосны представлено на рис. 3.



Рисунок 3 – Сравнительные размеры деревьев сосны в возрасте 10 и 50 лет

На рис. 4 и рис. 5 представлена визуализация чистого древостоя сосны на площади с искусственной высадкой саженцев через соответственно 10 и 50 лет после посадки. При этом в возрасте 10 лет конкуренция между деревьями отсутствует, и они развиваются независимо и примерно одинаково, хотя в этом случае необходимо учитывать биологические особенности и различия в почвенных условиях произрастания. Во втором случае – в возрасте 50 лет, визуализация древостоя, составленного из модели развития дерева в этом возрасте, визуализированная на рис. 2, представлена как без учета биологических

особенностей, так и без учета конкуренции деревьев, и без проведения рубок ухода леса в предшествующие годы, что приводит к достаточно абстрактному и неестественному виду древостоя.



Рисунок 4 – Визуализация древостоя в возрасте 10 лет



Рисунок 5 – Визуализация древостоя в возрасте 50 лет

Визуализация древостоя на рис. 5 показывает, что для достижения наилучшей производительности древостоя необходимо обязательное проведение рубок ухода в предыдущие годы еще до достижения возраста древостоя 50 лет, так как иначе будет получено перегущенное насаждение, в котором качество деревьев в древостое будет не оптимальным с точки зрения его производительности.

Для моделирования пространственного размещения деревьев в древостоях используются специальные математические методы, в которых учитываются различные факторы. Деревья в древостое могут размещаться равномерно в одном произвольном направлении, могут группами от 1 до 5 деревьев на небольших площадках, могут размещаться на основе подсчёта особей на площадках, по «индексу скученности», по методу нулевых площадок. На рис. 4 и рис. 5 продемонстрирована горизонтальная структура древостоя с равномерным размещением деревьев на площади 200 м^2 с расстоянием между деревьями 4 метра. Для того, чтобы рассчитать количество деревьев при их равномерном распределении в искусственном насаждении на площади 1 га, можно воспользоваться формулой:

$$N = 10000/I_{\text{cp}}^2$$

где N – количество деревьев на 1 га, а I_{cp} – среднее расстояние между деревьями в метрах.

В дальнейшей работе высадка саженцев будет осуществляться в древостоях естественного происхождения и с учётом законов естественного лесовозобновления. В этом случае основная задача при визуализации размещения деревьев на заданной площади сводится к ге-

нерированию пространственного размещения точек на выбранном участке и сопоставлению им характеристик отдельных деревьев [2]. В качестве метода для пространственной генерации таких точек выбран метод на основе радиальной функции распределения $g(r)$, которая служит статистической характеристикой пространственного размещения точек и фактически является нормализованной мерой числа точек, размещённых на данной площадке, находящихся друг от друга на расстоянии r .

ЛИТЕРАТУРА

1. Лесоведение: учеб. Пособие для студентов высшего образования по специальности «Лесное хозяйство» / К.В. Лабоха. – Минск: БГТУ, 2018 – 264с.
2. Компьютерная система для имитационного моделирования роста древостоев. / Н. И. Гурин, В. П. Григорьев, В. С. Микуцкий // Леса Беларуси: сб. материалов МНТК. – Минск, 2005.

УДК 004.622

Д.В. Копыток, маг. (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ЗАРАЖЕНИЕ ИХ КОРНЕВОЙ ГУБКЕЙ

Пусть имеется массив данных, содержащий собранную в различных лесхозах, статистику о произрастании сосновых насаждений и их таксационных характеристиках, а также о площадях поражения, упомянутых ранее насаждений, корневой губкой.

Необходимо оценить связь таксационных характеристик, площадей и степени заражения сосновых насаждений.

В качестве инструмента для анализа массива данных было решено использовать Microsoft Analysis Services.

Microsoft SQL Server Analysis Services, SSAS – это инструмент онлайн-аналитической обработки (OLAP) и интеллектуального анализа данных в Microsoft SQL Server.

SSAS используется организациями в качестве инструмента для анализа и осмысления информации, которая может быть распределена по нескольким базам данных или в разрозненных таблицах или файлах.

OLAP (англ. online analytical processing, интерактивная аналитическая обработка) – технология обработки данных, заключающаяся в подготовке суммарной (агрегированной) информации на основе

больших массивов данных, структурированных по многомерному принципу.

OLAP-структура, созданная из рабочих данных, называется OLAP-куб.

Куб создаётся из соединения таблиц с применением схемы звезды или схемы снежинки.

В центре схемы звезды находится таблица фактов, которая содержит ключевые факты, по которым делаются запросы. Множественные таблицы с измерениями присоединены к таблице фактов.

Эти таблицы показывают, как могут анализироваться агрегированные реляционные данные. Количество возможных агрегирований определяется количеством способов, которыми первоначальные данные могут быть иерархически отображены.

OLAP-куб содержит базовые данные и информацию об измерениях (агрегаты). Куб потенциально содержит всю информацию, которая может потребоваться для ответов на любые запросы. При огромном количестве агрегатов зачастую полный расчёт происходит только для некоторых измерений, для остальных же производится «по требованию».

Выбранные инструменты подходят для первоначальной обработки данных.

В итоге мы получили первичную визуализацию данных на основе которой можно производить более глубокий анализ данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Общие сведения о кубах OLAP в Service Manager для расширенной аналитики. – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/system-center/scsm/olap-cubes-overview?view=sc-sm-2019>.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОРМАТА GEOJSON ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОГО ВОДЯНОГО ЗНАКА НА ЭЛЕКТРОННЫЕ КАРТЫ

Электронные карты – это набор компьютерных файлов, содержащих пространственные данные в векторном или растровом формате. Изготовление электронных карт требует значительных усилий и средств, а использование криптографических методов для их защиты ограничено. Следовательно, наиболее оптимальным представляется использование стеганографических методов для контроля их целостности и правильности.

В последние годы увеличилось число публикаций, посвященных проблеме осаждения скрытых меток в файлы электронных карт с целью подтверждения целостности и авторства, в то время как ранее основной интерес сосредотачивался на растровых картах, которые представляют собой изображение. При осаждении скрытых меток все стеганографические методы могут быть разделены на две основные группы: изменение характеристик отдельных вершин пространственных объектов и трансформация пространственного объекта в целом.

В работах [1-5] описывается класс методов к нанесению скрытых меток на электронные карты. Данный подход состоит в том, чтобы обрабатывать пространственные данные в базе данных, а скрытые метки наносятся за счет добавления дополнительных вершин в пространственные объекты. Эти дополнительные вершины наносятся на ребра существующих пространственных объектов и не отображаются на карте. Также рассматривается проблема целостности электронных карт, т.е. проблема замены или подмены атрибутов и/или пространственных объектов. Предлагается внедрять цифровые метки в каждый пространственный объект, причем метка для каждого следующего объекта будет вычисляться в зависимости от предыдущего объекта.

Пространственные объекты могут быть представлены в виде точек, линий или полигонов (многоугольников), а также их наборов. Карта представляет собой набор слоев, в каждом из которых могут находиться различные пространственные объекты, и может быть записана различная атрибутивная информация.

Формат GeoJSON представляет собой формат представления пространственных данных. Объект GeoJSON может быть представлен геометрией (geometry), объектом (feature) или коллекцией объектов (feature collection). Объект (feature) в GeoJSON состоит из простран-

ственного объекта и дополнительных атрибутов, коллекция объектов (feature collection) – из набора объектов.

GeoJSON всегда представляет собой единственную сущность: геометрию, элементарный объект или коллекцию элементарных объектов. В GeoJSON объект состоит из произвольного набора пар ключ/значение, также называемых свойствами. Имя каждого свойства – строка. Значение свойства может представлять собой строку, число, объект, массив или литералы «true», «false» и «null».

Все объекты, тип которых отличен от «Geometry Collection», должны иметь свойство «coordinates». Значение данного свойства всегда представляет собой массив. Структура элементов массива определяется типом объекта: для точек – две или три координаты, для линий и многоугольников должны быть заданы координаты для каждой точки. Координаты определяются массивом чисел. Порядок элементов должен быть следующим: для данных, находящихся в прямоугольной системе координат, – смещение на восток, смещение на север, высота; для данных, находящихся в географической системе координат, – долгота, широта, высота.

Формат GeoJSON поддерживает следующие геометрические типы: точка (Point), ломаная линия (LineString), многоугольник (Polygon), а также наборы из этих объектов: набор точек (MultiPoint), набор ломаных линий (MultiLineString), набор многоугольников (MultiPolygon) и коллекция произвольных пространственных объектов (GeometryCollection).

Целью настоящего исследования является разработка стеганографического метода обеспечения целостности и подтверждения авторства электронной карты на основе внедрения дополнительных точек в фигуры пространственных объектов формата GeoJSON по определенному алгоритму.

Суть предлагаемого метода состоит в том, чтобы добавлять дополнительные вершины в пространственные объекты таким образом, чтобы отображение исходной фигуры не изменялось. В качестве стеганографического контейнера используется геометрический тип многоугольник. Дополнительные вершины располагаются на ребрах имеющихся многоугольников в определенном отношении. Таким образом, внешний вид пространственных объектов остается неизменным. Ребра, на которых устанавливаются дополнительные точки, выбираются в первом многоугольнике в зависимости от идентификатора владельца карты, а в последующих многоугольниках – случайным образом. В каждый многоугольник осаждение скрытой информации производится дважды: первый раз для скрытия предыдущих ребер осаж-

ждения, а во второй раз – для осаждения значения хэш-функции от набора атрибутов предыдущего многоугольника.

Для демонстрации работы стеганографического метода было разработано веб-приложение StegoMap, позволяющее пользователю осадить в электронные файлы формата GeoJSON цифровую метку, связанную с владельцем карты, а также проверить целостность и авторство владельца электронной карты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блинова, Е. А. Стеганографический метод на основе встраивания дополнительных значений координат в пространственные данные, хранящиеся в базе данных / Е. А. Блинова, П. П. Урбанович // Информационные технологии: тезисы докладов 82-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. – Минск: БГТУ, 2018. – С. 8-9.

2. Блинова, Е. А. Защита целостности данных электронных карт стеганографическим методом / Е. А. Блинова, П. П. Урбанович // Веб-программирование и интернет-технологии: тезисы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, БГТУ, 2018. – С. 147.

3. Блинова, Е. А. Сравнительные особенности использования стеганографических методов в электронных картах / Е. А. Блинова, П. П. Урбанович // X Международная научно-техническая конференция «Информационные технологии в промышленности, логистике и социальной сфере»: тезисы докладов. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2019. – С. 22-24.

4. Блинова, Е. А. Стеганографический метод на основе встраивания дополнительных значений координат в картографические данные / Е. А. Блинова // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. – Минск: БГТУ, 2019, № 1 (218). – С. 69-74.

5. Блинова, Е. А. Приложение для нанесения стеганографического водяного знака на электронную карту/ Е. А. Блинова, И. Ю. Сташевская // Материалы докладов VIII Международной научно-технической интернет-конференции «Информационные технологии в образовании, науке и производстве». – Минск: МИДО БНТУ. – С. 19-22.

АНАЛИЗ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА ОСНОВЕ КОНТЕЙНЕРОВ SVG-ФОРМАТА

Стеганография изображений играет важную роль для передачи секретных данных по компьютерным сетям и каналам связи [1]. Существует большое количество методов для конкретных контейнеров, в которые скрытно помещается информация. Формат SVG предоставляет разнообразный набор таких методов, благодаря структуре его файла.

SVG (Scalable Vector Graphics) – это язык описания двумерной графики в формате XML. SVG может использовать три вида графических объектов: фигуры векторной графики (могут описываться как прямыми, так и кривыми линиями), изображения и текст.

Основу SVG составляют базовые геометрические фигуры: прямоугольники, эллипсы, ломаные линии и т. д. Для таких фигур существуют свои теги и задаются при помощи атрибутов для обозначения начальных координат и размеров. Для создания сложных графических объектов можно использовать общий элемент `path`, который определяется одним атрибутом `d`. Атрибут `d` содержит серию команд и параметров, используемых этими командами. Команды обозначаются специальными буквами. Например, команда *Переместиться к*, обозначается буквой *M*. В качестве параметров она принимает координаты точки, к которой перемещается; или команда *Линия к*, вызываемая буквой *L*, принимает два параметра – координаты точки x и y , и рисует линию от текущего положения к этой точке.

С помощью SVG мы можно использовать добавление и отображение текста в изображении. Для этого используется отдельный тег `<text>`. Для того чтобы выровнять текст по задаваемому пути используют тег `<textPath>`. SVG тег `<image>` позволяет выводить растровые изображения внутри SVG-объектов.

Стеганография изображений может быть представлена с помощью растровых и векторных изображений. Методы для растровых изображений можно разделить на два класса: методы пространственной области и методы частотной области. Для пространственной области основные процедуры внедряют скрытое сообщение в младшие биты цифрового кода пикселей изображения (например, на основе известного метода LSB). Для частотных процедур осаждаемое сообщение вставляется в частотную характеристику изображения.

Пространственные процедуры включают методы внедрения цифрового кода сообщения в изображение и замены:

- метод наименее значащего бита (LSB) – незначащий или малозначащий младший бит цвета или палитры изображения заменяется битом вставляемого сообщения;

- псевдослучайные перестановки – биты сообщения распределены по изображению случайным образом. Этот подход увеличивает трудоемкость выявления скрытого сообщения, особенно если псевдослучайный датчик генерирует последовательность сложным алгоритмом.

Частотные процедуры состоят в замене малозначащих частотных характеристик изображения, например, в замене некоторых коэффициентов в дискретном косинус-преобразовании, а также дискретное вейвлет-преобразование. Эти и некоторые другие методы обычно применяются в патчах и методах расширения спектра:

- метод с использованием патчей – статистическое кодирование информации путем изменения некоторых статистических свойств контейнера (добавление избыточных данных к скрытому сообщению и затем размытие его по изображению с применением гауссового распределения) и использует проверку гипотез при извлечении сообщения;

- метод расширения спектра – комбинирует расширение спектра, кодирование с исправлением ошибок и обработку изображений для скрытия вставляемого сообщения [2].

В отличие от растровых изображений, представленных совокупностью бит, векторные используют описание расположение геометрических фигур, а стеганометоды основываются на их преобразовании:

- механизм модификации дробных частей констант геометрических фигур аналогичен LSB для растровых изображений, путем добавления информации в значения координат, будет происходить незначительное изменение элементов фигур, не заметное человеческому глазу, в виду того, что значения крайне малы;

- встраивание дополнительных точек в ребра состоит в использовании расстояний между точками для передачи информации; так как точки лежат на самой фигуре, они не меняют ее внешний вид, а лишь меняют ее внутреннее представление [3–4];

- внедрение дополнительных вершин в описание геометрических фигур.

Существует большое количество методов для преобразования текста, как например метод конечных пробелов и табуляций, где «0» представлен одним пробелом, а «1» двумя. Для SVG допустимыми

будут методы для языков разметки, где преобразования производятся с тегами и их атрибутами:

- представление сообщения битовой последовательностью и замена в файле «0» одинарными кавычками, а «1» – двойными;
- использование специальных кодов для пробела; пробел может быть закодирован разной последовательностью символов, таким образом можно принять за «0» и «1» разные значения последовательностей;
- изменение значений атрибутов тегов;
- изменение регистра букв тегов; представление верхнего регистра тега для «1», нижнего – для «0».

Все методы сокрытия сообщений имеют свои сильные и слабые стороны. Выбирая метод встраивания информации необходимо опираться на множество факторов. Файлы SVG чаще всего используются для графического представления объектов, поэтому даже при допустимой возможности размещения текстовой информации ее объем будет слишком мал для того, чтобы использовать текст в роли контейнера. В таких файлах объекты в основном создаются с помощью команд тега *<path>*, количество тегов также будет недостаточно для внедрения тайной информации в разметку. Так как формат не предоставляет никаких дополнительных возможностей для растровых изображений, то нет оснований для того, чтобы использовать их как контейнер внутри файла SVG. Поэтому для этого формата наиболее разумно скрывать информацию в дополнительных преобразованиях фигур векторной графики, представленных с помощью тега *<path>*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урбанович, П.П. Защита информации методами криптографии, стеганографии и обфускации: учеб.-метод. пособие / П.П. Урбанович. – Минск: БГТУ, 2016. – 220 с.
2. Сейеди, С.А. Сравнение методов стеганографии в изображениях/ С.А. Сейеди, Р.Х. Садыхов // Информатика. – 2013. – № 1(37). – С. 66–75.
3. Блинова, Е.А. Стеганографический метод на основе встраивания дополнительных значений координат в изображения формата SVG / Е.А. Блинова, П.П. Урбанович // Труды БГТУ. Серия 3. – 2018. – № 1. – С. 104–109.
4. Blinova, E.A. Steganographic method based on hidden messages embedding into Bezier curves of SVG images / E. A. Blinova, P. P. Urbanovich // Journal of the Belarusian State University. Mathematics and Informatics. – 2021. – № 3. – P. 68–83.

МЕТОД СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОГО ВНЕДРЕНИЯ ТАЙНОЙ ИНФОРМАЦИИ В WEB-ДОКУМЕНТЫ НА ОСНОВЕ РАСТРОВОЙ ГРАФИКИ

Актуальность проблемы информационной безопасности постоянно растет и стимулирует поиск новых методов защиты информации. Современные компьютерные технологии, прогресс в области глобальных компьютерных сетей и средств мультимедиа обеспечивают возможность разработки и реализации новых методов, предназначенных для обеспечения компьютерной информационной безопасности. Одна из самых новых горячих точек в исследованиях безопасности – это сокрытие информации. Она обусловлена двумя важнейшими политическими проблемами информационной эпохи – защитой авторских прав и государственным надзором.

Стеганография является эффективным программно-техническим методом сокрытия данных и защиты их от несанкционированного доступа. Использование стеганографии совместно с другими методами защиты информации обеспечивает многоуровневую безопасность [1].

Методы текстовой стеганографии можно разделить на три основные категории: основанные на формате, или синтаксические методы, лингвистические, или основанные на обработке естественного языка, методы, а также основанные на случайной и статистической генерации.

Работа с текстовыми документами подразумевает, что содержимое документа должно быть абсолютно точно передано при обратном преобразовании.

Формально модель задается следующим выражением:

$$\Sigma = (M, L, K, E, F, F^{-1})$$

Зафиксируем множество возможных сообщений $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$, множество возможных контейнеров $L = \{L_1, L_2, \dots, L_l\}$, и множество возможных заполненных контейнеров (стеганограмм) $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$.

Зафиксируем множество отображений:

$$\varphi = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k\}, \quad (1)$$

где

$$\varphi_i: (M, L) \rightarrow E, i = 1, 2, \dots, k. \quad (2)$$

Определим обратное отображение:

$$\varphi_i^{-1}: E \rightarrow (M, L), \quad (3)$$

которое каждому элементу множества E ставит в соответствие элемент множества M и элемент множества L .

Зафиксируем множество ключей $K = \{K_1, K_2, \dots, K_k\}$ так, что для всех $i = 1, 2, \dots, k$ отображение $\varphi_i \in \varphi$ однозначно задается ключом K_i . Каждое конкретное отображение φ_i из множества φ соответствует способу встраивания сообщения из множества M в контейнер из множества L при помощи конкретного ключа K_i [2].

Данный метод подразумевает рассмотрение текстового документа как графического объекта растровой графики.

В качестве базового элемента контейнера, свойства которого модифицируются при осаждении информации, выступает пиксель изображения, входящего в массив пикселей служащих для отображения символа текста, не включая непечатные символы.

Используется цветовая модель RGB. RGB – цветовая модель, представление цвета которой задается совокупностью трех цветовых каналов: красного, зеленого и синего. Каждый из каналов имеет размер в один байт, из чего следует, что цвет одного пикселя представляется в виде трех байт. Каждый цветовой канал задается 8-разрядным двоичным вектором либо соответствующим десятичным числом:

$$R, G, B \in \{0, 1\} \text{ либо } R, G, B \in \{0, 1, \dots, 255\}.$$

Во втором случае часто говорят об интенсивности трех составляющих цвета.

Предлагается следующий метод для внедрения тайной информации в web-документы. Начальным этапом является преобразование web-документа в файл растровой графики формата без сжатия, например, PNG, и выбор секретного сообщения. Зафиксируем документ-контейнер как L , сообщение как M . Длина внедряемого сообщения N_M . Выбранное секретное сообщение необходимо преобразовать в двоичный вид, на данном этапе используется кодировку ASCII, в которой один символ представлен 8 битами. Следовательно, $N_M = \text{length}(M) \times 8$.

Для внедрения информации необходимо выбрать набор пикселей, где совпадает значение одного или нескольких цветовых каналов. Из массива выбирается базовый пиксель. Дальнейшее внедрение будет происходить в цветовой канал, который не использовался при выборе массива пикселей, при сравнительном анализе пикселя для внедрения с базовым.

Если значение цветового канала пикселя для внедрения значительно отчается от значения того же цветового канала базового пикселя (5 и более), то значение цветового канала, который использовал-

ся при выборе пикселей изменить на 1. Таким образом, этот пиксель перестанет попадать в массив пикселей для внедрения, так как значительное изменение цветового канала будет очевидно для человеческого глаза.

Если значение цветового канала базового пикселя больше чем пикселя для внедрения, то бит внедряемого сообщения равен 0.

Если значение цветового канала базового пикселя меньше чем пикселя для внедрения, то бит внедряемого сообщения равен 1.

Если полученный бит не совпадает с битом внедряемого сообщения, то значение цветового канала пикселя для внедрения нужно изменить на 5 единиц в необходимую сторону.

В качестве ключей может использоваться информация какой канал или несколько каналов используется для выбора пикселей для внедрения, номер базового пикселя в массиве.

Для внедрения сообщения необходимо $N_M + 1$ пикселей при условии внедрения в каждый пиксель. Исходя из того, что в среднем из 100 пикселей 5 будут подходить для внедрения, то для внедрения сообщения длиной 8 бит необходимо изображение 15×15 пикселей, для внедрения сообщения длиной 80 бит – 45×45 пикселей.

Данный метод можно использовать и для форматов изображений с незначительным сжатием, изменяя значения каналов более значительно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урбанович, П. П. Защита информации методами криптографии, стеганографии и обфускации: учеб.-метод. пособие / П. П. Урбанович. – Минск: БГТУ, 2016. – 220 с.
2. Кузнецов, А. А. Математическая модель и структурная схема стеганографической системы / А. А. Кузнецов, А. А. Смирнов, Е. В. Мелешко // Збірник наукових праць Кірово-градського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип. 25, ч. 1. – С. 273-281.
3. Савельева М. Г. Метод стеганографического внедрения тайной информации в web-документы на основе растровой графики.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИНТАКСИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ТЕКСТОВОЙ СТЕГАНОГРАФИИ

Стеганография – это наука о способах передачи скрытой информации, при которых скрытый канал организуется на базе и внутри открытого канала с применением особенностей восприятия информации.

Исследования и разработки в области стеганографии становятся всё более популярными в современном информационном обществе наряду с широким использованием цифровых форматов мультимедиа и существующими проблемами управления цифровыми ресурсами и контроля использования прав собственности на компьютерные файлы.

Стеганография, использующая текстовые контейнеры для скрытия данных, называется текстовой [1]. При скрытии информации используются допущения при расположении и количестве символов в тексте, не учитываемые при прочтении человеком и компьютерном анализе файла. Методы текстовой стеганографии можно разделить на три группы: синтаксические, случайная и статическая генерация и лингвистические [2].

Синтаксические методы основаны на использовании особенностей пунктуации, аббревиатуры и сокращения. К синтаксическим методам относят также методы, основанные на изменении стиля и структуры предложения без заметного искажения исходной смысловой нагрузки. Недостатками можно считать лёгкую обнаруживаемость и высокую вероятность разрушения скрытого сообщения при повторном наборе текста или использовании более сложных текстовых редакторов [3].

В данной работе были рассмотрены синтаксические методы текстовой стеганографии, использующие в качестве контейнера документы, созданные в программе Microsoft Word, в связи с их широким распространением. Для них применяются методы, которые используют наравне с классическими методами текстовой стеганографии и методы, свойственные контейнеру, такие как особое форматирование и смещение текста, наличие истории редактирования и прочей служебной информации, что позволяет добиться увеличения скрытности и пропускной способности. К таким методам относятся следующие:

- Line Shift Coding – метод использующий изменение расстояния между строками электронного текста.
- Word Shift Coding – метод использующий изменение расстояния между словами в одной строке электронного текста.

– Feature Coding – методы, использующие внесение специфических изменений в шрифты (начертания отдельных букв). Примеры включают: удлинение или укорочение конечной части конкретных символов, таких как h, d, b; изменение размера точки в символах, таких как i, j и т. д. Классификация методов представлена на рисунке 1. Некоторые из методов описаны ниже:

- Luminance Modulation Coding – метод использующий изменение модуляции яркости символов.
- Метод невидимых символов заключается в встраивании секретного сообщения в цвет невидимых символов (пробелы, табуляции, новые строки) в формате RGB.
- Метод подчеркивания символов для MS Word. Подчеркивание символов добавляет невидимые стили подчеркивания к символам, поэтому каждый символ может нести 8 секретных битов.
- Метод масштабирования символов для MS Word. Шкала текстовых символов по умолчанию составляет 100%. Можно скрыть 1 бит на символ, используя 99%-ную шкалу или 101%-ную.

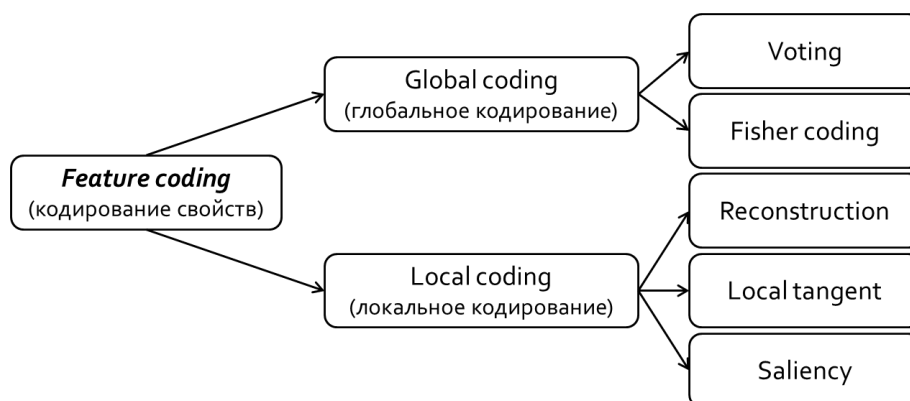


Рисунок 1 – Методы группы Feature Coding

– Property Coding методы используют свойства объектов документа, отличные от символов (например, границы абзаца), в качестве носителя секретной информации:

- Метод границ абзаца использует возможность добавить левую и правую границы к абзацу и раскрасить их цветами, представленными компонентами (R, G, B), где R, G, B > 249 не может быть отличен от белого цвета (255, 255, 255) для человеческого глаза.
- Метод границ предложения использует возможность добавления левых и правых границ к предложению с цветами, незаметными пользователю [4].

Для анализа используем документ MS Word в качестве документа-контейнера. Документ описан в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики трех документов-контейнеров

	Документ
Страницы	3
Слова	1025
Знаки без пробелов	7259
Знаки с пробелами	8274
Символы	8309
Абзацы	35
Строки	135
Предложения	65
Размер (бит)	141584

Таблица 2 – Сравнение максимального количества встроенных битов/символов в некоторых из описанных методов

	Документ
Метод Luminance Modulation Coding	7 259
Метод невидимых символов	$8309 - 7259 = 1\ 050$
Метод подчеркивания символов	$8274 \times 8 = 66\ 192$
Метод масштабирования символов	8 274
Метод границ абзаца	$35 \times 28 = 980$
Метод границ предложения	$65 \times 7 = 455$

Из таблицы 2 видно, что метод подчеркивания символов имеет наибольшую ёмкость встраивания, за ним следует метод масштабирования символов, а наименьшую ёмкость встраивания имеет метод границ предложения. Это объясняется тем, что метод подчеркивания символов встраивает до 8 бит в 1 символ, метод масштабирования символов встраивает 1 бит в 1 символ, а метод границ предложения встраивает до 7 бит в одно предложение, которое включает в себя в среднем 125 символов.

Некоторые методы стеганографии текста, такие как кодирование со сдвигом строк, кодирование со сдвигом слов и кодирование с модуляцией яркости надежны для печати и сканирования документов, но большинство имеет низкую ёмкость встраивания. Другие методы, имеют более высокую ёмкость встраивания, но менее или совсем не устойчивы к печати и сканированию документов. Кодирование свойств относится ко второй группе, и оно совсем не устойчиво к пе-

чати и сканированию документов. Кодирование свойств устойчиво к действиям по сохранению, а также имеет меньшие накладные расходы.

Скрытый текст с кодировкой свойств может быть изменен или уничтожен путем редактирования текста. Наличие методов подчеркивания символов, границ абзаца и границ предложений можно легко обнаружить, если кто-то намеренно изменит цвет фона документа, в результате чего границы и подчеркивание станут видимыми. Методы масштабирования символов и изменения яркости устойчив к такого рода атакам.

Кодирование свойств не совсем подходит для приложений защиты авторских прав, где требуется надежное сокрытие данных, поскольку злоумышленник всегда может использовать оптическое распознавание символов для полного удаления скрытых данных.

Таким образом после сравнительного анализа можно сделать вывод, что из всех рассмотренных методов оптимальным вариантом для обеспечения тайны переписки и защиты авторских прав документа по совокупности факторов (ёмкость встраивания, устойчивость к печати и сканированию документов, некоторые виды атак, в частности изменение фона документа) является метод модуляции яркости (метод Luminance Modulation Coding).

ЛИТЕРАТУРА

1. Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking / Ed. Stefan Katzenbeisser, Fabien A. P. Petitcolas. – London: Artech House, Inc., 2000. – P. 110-113.
2. Bennett, K. Linguistic steganography: Survey, analysis, and robustness concerns for hiding information in text / K. Bennett // cERIAS Tech Report. – 2004. – 13 p.
3. Урбанович, П. П. Защита информации методами криптографии, стеганографии и обфускации: учеб.-метод. пособие / П. П. Урбанович. – Минск: БГТУ, 2016. – 220 с.
4. Stojanov, I. A New Property Coding in Text Steganography of Microsoft Word Documents / I. Stojanov, A. Mileva, I. Stojanovic // In Securware 2014: The Eighth International Conference on Emerging Security Information, Systems and Technologies. – 2014. – P. 25-30.

ЗАЩИТА ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ДОБАВЛЕНИЯ КОНТУРА К СИМВОЛАМ ТЕКСТА

Развитие информационных технологий за последние годы привело к тому, что значительная часть информации, относящейся к различным сторонам деятельности предприятий или организаций, теперь находится в электронном виде. Особенную остроту приобретает проблема надежной защиты этих ресурсов, а также иных текстовых документов, программных кодов, баз данных от несанкционированного использования.

Существуют различные способы для реализации такой защиты. К ним можно отнести, в частности, методы текстовой стеганографии, которые в последнее время становятся популярными.

Информация, которая позволяет защитить права собственности на документ, скрывается (осаждается), наподобие цифровых водяных знаков, в документе (контейнере).

Скрывать такую информацию можно, используя различные элементы текста путем их незаметной модификации: например, изменением контура символов. Существует множество методов сокрытия информации другими способами: например, междустрочного интервала, или интерлиньяжа (LineShift Coding), пробельного расстояния между словами (Word-Shift Coding).

Основными объектами сокрытия информации, относящимся к информационным технологиям являются бумажные и электронные версии различных текстовых документов.

Среди множества предлагаемых методов защиты текстовой информации ни один не дает полной гарантии. В последние годы появляется все большее количество методов сокрытия информации на основе стеганографии. При этом защита или передача информации производится путем ее тайного размещения в текстовый документ. Процесс осаждения подразумевает собой изменение некоторых параметров контейнера. В случае с текстовыми документами, в некотором тексте осаждается информация, которую необходимо передать другому пользователю незаметно.

Для понимания сущности метода кратко поясним специфику используемого здесь параметра шрифта. Необходимо выставить определенные параметры символа так, чтобы это было визуально незаметно. Таким образом согласно методу, можно скрыть необходимую информацию в документе-контейнере.

Компьютерная графика добавила символам текста еще одну существенную характеристику – контур, который также может быть ис-

пользован для осаждения тайной информации в текст по аналогии с известными методами графической стеганографии.

На рис. 1 приведен пример применение контура для различных символов алфавита. На рисунке при большом увеличении визуально незаметно. Однако, в первой строке применен контур символов ко всем символам, а в другой строке ни к одному.

ABCDEF
ABCDEF

Рисунок 1 – Пример применения контура

Далее рассмотрим алгоритмические особенности реализации методов, в которых осаждение информации производится путем изменения контура символа в соответствии с некоторыми правилами сокрытия информации в контейнере текста.

Документ, который мы хотим защитить, называется контейнером, или файлом-контейнером S . Текст, с помощью которого осуществляется защита путем его осаждения в контейнере, или же который размещается для передачи, носит название стегосообщение S . Защищенный документ (контейнер с осажденным сообщением) называется стегоконтейнером S .

Итак, необходимо скрыть некоторую информацию в файле-контейнере для передачи её другому пользователю. У нас есть файл-контейнер S , размер которого N_C , где N – количество слов в тексте. Также имеется сообщение, которое необходимо скрыть в файле-контейнере, X . Следующим шагом сокрытия информации является перевод скрываемой информации в двоичный вид. N_X – количество символов сообщения, переведенного в двоичный вид.

Например, имеется текст «Hello world». Его $N_C = 2$. И скрываемое сообщение «123». Его $N_X = 1111011$.

Таким образом, на первом этапе, необходимо вычислить размер файла-контейнера, узнать скрываемое сообщение, перевести его в двоичный вид и вычислить количество символов X .

Основная среда для работы с текстовыми сообщениями MS Word. Возможности пользователя в этой среде для работы с контуром символа достаточно широки. Можем редактировать следующие параметры: цвет, прозрачность, ширину контура, тип штриха, тип точки и другие. Параметры можно посмотреть на рис. 2.

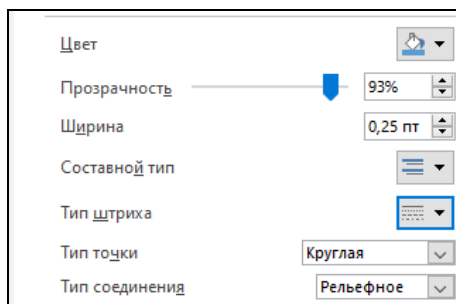


Рисунок 2 – Параметры контура символа

Предполагается осаждение информации в тексте сообщения, переведенного в двоичный вид при соответствующем объеме N_c .

Например, если в сообщении «0», то контур применяем к последней букве встречающегося слова в файле-контейнере, а если «1» – эти же действия производятся над первой буквой слова.

Таким образом, появляется условие, что необходимо пропускать слова, которые содержат 1 букву (предлоги). Это необходимо для того, чтобы наиболее грамотно извлечь в будущем сообщение без потерь данных, так как если в слове одна буква, то неизвестно будет зашифрована «1», либо «0».

Также возникает следующий вопрос. Как шифровать пробелы? Пробелы в двоичном виде также имеют свой код. Именно поэтому, пробелы будут осаждаться аналогично всем словам.

Далее необходимо выяснить как высчитать необходимый размер файла-контейнера для сокрытия необходимого сообщения. То есть,

$$N_c > N_x.$$

Недостаток данного метода в том, что даже для сокрытия одного слова, состоящего из 6 символов, необходим текст размером примерно в 66 слов, не учитывая слов, состоящих из 1 символа.

Далее можно обратиться к анализу влияния контура символов на объем памяти, занимаемой текстом. Логично предположить, что при добавлении каких-либо «качеств» символам, текст станет занимать больше памяти. На графике (рис. 3) отображено данное влияние:

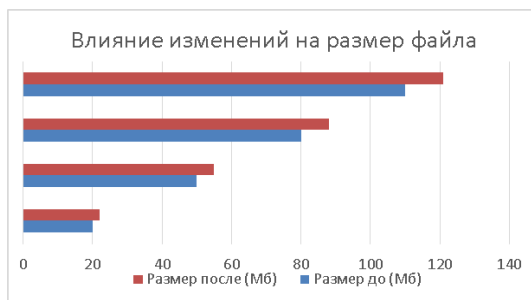


Рисунок 3 – График влияния контура символов на объем памяти

Таким образом, при добавлении контура к символам, объем памяти, занимаемой текстом, увеличивается линейно.

Предложенный и проанализированный метод тайной передачи информации в тексте-контейнере основан на реализации текстовой стеганографии путем изменения такого параметра текста-контейнера, как контур символа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урбанович, П.П. Защита информации методами криптографии, стеганографии и обфускации / П.П. Урбанович. – Минск: БГТУ, 2016. – 220 с.

УДК 004.032.26

Н.А. Жилияк, доц., канд. техн. наук;
Джереми Убонг Чарлес, маг.
(БГТУ, г. Минск)

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ КАК РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В данном материале рассматривается, как предобученные нейронные сети могут быть использованы для решения задачи классификации изображений.

За последние годы появилось большое количество моделей, созданных и обученных профессионалами с использованием большого количества данных и огромных вычислительных мощностей. Многие из этих моделей находятся в открытом доступе, и любой может использовать их для решения своих задач совершенно бесплатно.

В качестве примера рассмотрим задачу классификации изображений из конкурса LifeCLEF Plant Identification Task. Задача заключается в том, чтобы предсказать таксономический класс растения, основываясь на нескольких его фотографиях [1].

Для обучения доступно 47815 изображений растений, каждое из которых принадлежит к одному из 500 классов. Необходимо построить модель, которая будет возвращать список наиболее вероятных классов растения. Позиция верного класса растения в списке предсказанных классов (ранг) определяет качество системы.

Эта задача моделирует реальный жизненный сценарий, где человек пытается идентифицировать растение, изучая его отдельные части (стебель, лист, цветок и др.). Таким образом, первичный показатель качества определяется как следующая средняя оценка S :

$$S = \frac{1}{U} \sum_{u=1}^U \frac{1}{\rho_u} \sum_{\rho=1}^{\rho_u} s_{u,\rho},$$

где U – количество пользователей, которые имеют хотя бы одно фото в тестовой выборке, ρ_u – число уникальных растений, которые сфотографировал пользователь U , $s_{u,\rho}$ – значение от 0 до 1, рассчитывается как обратное число от ранга верного класса растения в списке наиболее вероятных классов.

Для решения задачи будем использовать нейронные сети, которые обучались на 1,2 миллионах изображений из базы данных ImageNet. Изображения содержат объекты, относящиеся к 1000 разных классов, такие как компьютер, стол, кот, собака и другие объекты, с которыми мы часто встречаемся в повседневной жизни.

В качестве базовых архитектур мы выбрали VGG16, VGG19, ResNet50 и InceptionV3. Эти сети были натренированы на огромном количестве изображений и уже умеют распознавать простейшие объекты, поэтому можно надеяться, что они помогут нам создать достойную модель для классификации растений.

Препроцессинг изображений – это предварительная обработка изображений. Основной целью предобработки, в нашем случае, является выявление наиболее важной части изображения и удалении ненужного шума [2].

Все изображения в обучающей сети можно разделить на категории в зависимости от части растения, изображенного на них: Entire (растение целиком), Branch (ветвь), Flower (цветок), Fruit (фрукт), LeafScan (скан листа), Leaf (лист), Stem (стебель). Для каждой из этих категорий был подобран свой наиболее подходящий метод предварительной обработки.

Мы не будем изменять Entire и Branch изображения, поскольку зачастую большая часть изображения содержит полезную информацию, которую мы не хотим потерять.

Модель будем строить при помощи Keras с TensorFlow в качестве бэк-энда. Keras – мощная библиотека машинного обучения, предназначенная для работы с нейронными сетями, которая позволяет строить всевозможные модели: от простых, таких как перцептрон, до очень сложных сетей, предназначенных для обработки видео. И что очень важно в нашем случае, Keras позволяет использовать предобученные нейронные сети и оптимизировать модели как с помощью CPU, так и GPU [4].

ШАГ 1. Сперва мы загружаем предобученную модель без полносвязных слоев и к ее выходу применяем операцию пулинга

(pooling). В нашем случае лучшие результаты показал “средний” пулинг (GlobalAveragePooling), его и возьмем для построения модели.

Затем прогоняем изображения из тренировочного сета через полученную сеть, а полученные признаки сохраняем в файл. Немного позже вы увидите, зачем это нужно.

ШАГ 2. Мы могли бы заморозить все слои предобученной сети, добавить поверх нее свою полносвязную сеть, а затем обучать полученную модель. Чтобы сэкономить время, используем те признаки, которые мы сохранили на предыдущем шаге, для того, чтобы на них обучить полносвязную сеть.

Рассмотрим архитектуру полносвязной сети, которую будем обучать. После ряда экспериментов было выяснено, что одна из лучших архитектур имеет следующую структуру:

- три плотных слоя по 512 нейронов. За каждым dense-слоем идет Dropout-слой, с параметром 0.5. Это значит, что в каждом слое на каждом проходе сети мы случайным образом выбрасываем сигналы примерно половины нейронов;

- выходной слой представляет собой softmax на 500 классов;
- в качестве функции потерь мы используем categorical cross-entropy, а оптимизируем сеть при помощи Adam;

- также было замечено, что использование функции selu (scaled exponential unit) вместо relu в качестве функции активации помогает сети сходиться быстрее.

ШАГ 3. На этом шаге добавляем обученную полносвязную сеть поверх предобученной модели. Функцию потерь оставляем без изменений, а для обучения сети будем использовать другой оптимизатор.

Предобученная нейронная сеть уже выучила много абстрактных и общих признаков, и чтобы не сбить найденные веса, мы будем тренировать сеть с очень маленькой скоростью обучения. Такие оптимизаторы как Adam и RMSProp сами подбирают скорость обучения, в нашем случае выбранная скорость может оказаться слишком высокой, поэтому они нам не подходят. Чтобы иметь возможность самим задавать скорость обучения, мы будем использовать классический SGD-оптимизатор.

Чтобы улучшить качество итогового классификатора, нужно помнить следующее:

- уменьшайте скорость обучения на плато, чтобы слишком сильно не уйти в сторону минимума (*ReduceLROnPlateau callback*);

- если на протяжении нескольких эпох ошибка на валидационных данных не уменьшается, то стоит прекратить обучение (*EarlyStopping callback*);

– обычно дообучение моделей занимает много времени и когда мы закрываем *.ipynb*-файлы, весь динамический вывод теряется. Я рекомендую сохранять информацию об обучении в файл (*CSVLogger callback*), чтобы в дальнейшем можно было проанализировать, как проходит обучение модели.

Аугментация данных. Поскольку на заключительном шаге мы обучаем сеть целиком, здесь мы можем использовать аугментацию. Но вместо стандартного *ImageDataGenerator* из *Keras* мы будем использовать *Imgaug* – библиотеку, которая предназначена для аугментирования изображений. Важной особенностью *Imgaug* является то, что можно явно указать, с какой вероятностью преобразование должно быть применено к изображению. Кроме того, в этой библиотеке есть возможность объединять преобразования в группы, и выбирать, какую из групп применить [5].

Для аугментации мы выбираем те преобразования, которые могут происходить в реальной жизни, например, зеркальное отражение фото (по горизонтали), повороты, увеличение, зашумление, изменение яркости и контрастности. Если вы хотите использовать большое количество преобразований, то очень важно не применять их одновременно, поскольку для сети будет очень сложно извлечь полезную информацию из фото.

В метаданных к каждому изображению есть оценка качества (средняя оценка пользователей, показывающая, насколько хорошо изображение подходит для классификации). Мы предположили, что изображения с оценкой 1 и 2 достаточно шумные, и хотя они могут содержать полезную информацию, в итоге они могут негативно повлиять на качество классификатора. Эту гипотезу мы проверили при обучении *InceptionV3*. Изображений с оценкой 1 в тренировочном сете оказалось совсем немного, всего 1966, поэтому мы решили не использовать их при обучении. В результате, сеть обучалась лучше на изображениях с рейтингом выше единицы.

Выводы. Дообучение нейронных сетей, которые были натренированы на более чем 1 миллионе изображений, позволило значительно улучшить решение. Наш подход показал, что предобученные модели могут значительно улучшить качество в задачах классификации изображений, особенно в ситуациях, когда отсутствует достаточное количество данных для обучения. Даже если ваша базовая модель не имеет ничего общего с решаемой задачей, она все равно может оказаться полезной, поскольку уже умеет узнавать самые простые объекты окружающего мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. LifeCLEF – Multimedia Retrieval in CLEF. – Режим доступа: <https://www.imageclef.org/>.
2. Предварительная обработка изображений. – Режим доступа: <https://www.machinelearningmastery.ru/image-pre-processing-c1aec0be3edf/>.
3. Active Contour Model – Режим доступа: https://scikit-image.org/docs/dev/auto_examples/edges/plot_active_contours.html.
4. Keras – библиотека машинного обучения. – Режим доступа: <https://keras.io/>.
5. Imgaug – библиотека для аргументирования изображений. – Режим доступа: <https://github.com/aleju/imgaug>.

УДК004. (630.65)

В.В. Побединский^{1,2}, проф., д-р техн. наук;
С.В. Ляхов¹, доц., канд. техн. наук; М.Н. Салихова², асп.;
А.С. Некрасов¹, магистрант
¹(УГЛТУ, Екатеринбург), ²(УрГАУ, Екатеринбург)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТО И Р ПАРКА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПЕРЕДВИЖНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы технической эксплуатации лесозаготовительной техники передвижными средствами в производственных условиях лесозаготовок на мастерских участках. Для исследования процессов ТО и Р использовано в системе Matlab приложение SimEvents для визуально-блочного событийного моделирования. Предложена имитационная модель и ее программная реализация процесса распределения трудозатрат на ТО, проводимого на базе машины СРПМ-3.

Затраты на техническую эксплуатацию парка лесозаготовительной техники достигают около 30% от общепроизводственных, поэтому проблема совершенствования системы технического обслуживания техники остается актуальной. Специфика такой техники в том, что она работает на удаленных расстояниях от основной производственной базы, где находятся ПЦТО или РММ, поэтому становится неэффективным транспортирование ЛЗМ с лесосеки на ремонты, например, I, II группы сложности или на ТО-1. Однако, чтобы обосновать экономически целесообразные расстояния транспортирования машин до ПЦТО, следует в каждом конкретном случае делать соответствующие исследовательские работы [1]. Самым достоверным методом исследований подобных процессов можно считать имитационное моде-

лирование с использованием современной концепции визуально-блочного моделирования [2]. Наиболее развитой средой для таких задач является в системе Matlab приложение SimEvents [3], предназначенное для событийного моделирования, т.е. процессов, описываемых на основе систем массового обслуживания [2].

В этой связи **целью** настоящих исследований стала разработка имитационной модели выполнения перечня операций по ТО-1 на передвижной машине и программная реализация модели в среде Matlab.

В числе **задач** были следующие.

1. Разработка схемы процесса выполнения перечня операций по ТО-1.
2. Разработка алгоритма имитационной модели процесса ТО-1.
3. Программная реализация имитационной модели в среде Matlab.

В модели принята типовая схема выполнения перечня операций по ТО-1 с распределением трудозатрат по этим операциям [1]. Распределение трудозатрат по каждому виду работ выполняется путем статистического моделирования. Генерация величин выполняется в процентном отношении от общих трудозатрат на ТО-1 или ремонт. Вид распределения вначале, на этапе отладки функционирования модели, принимается нормальным, а для конкретного случая указывается свой вид распределения и его параметры. Из видов работ приняты укрупненно по ходовой части, двигателю, электрооборудованию, кузову и запланированы прочие виды. Аналогично предусмотрены распределения и ремонтных работ.

Поскольку принята концепция визуально-блочного имитационного моделирования, разработка алгоритма совмещена с программной его реализацией в среде SimEvents приложения Matlab [3]. Общая имитационная модель ТО и Р на базе СРПМ приведена на рис. 1. Подсистема имитационной модели распределения трудозатрат при выполнении ремонта в среде SimEvents приведена на рис. 2.

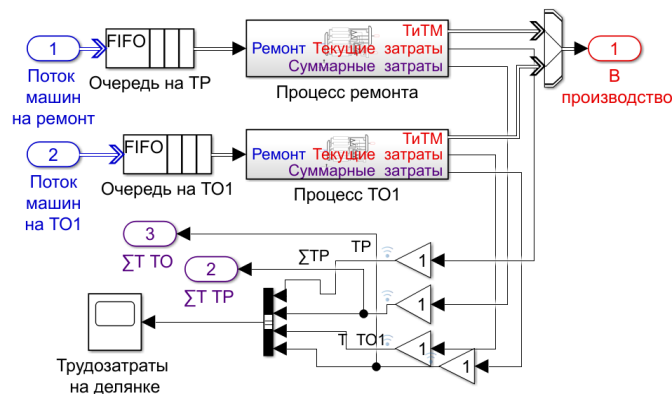


Рисунок 1 – Общая имитационная модель ТО и Р на базе СРПМ

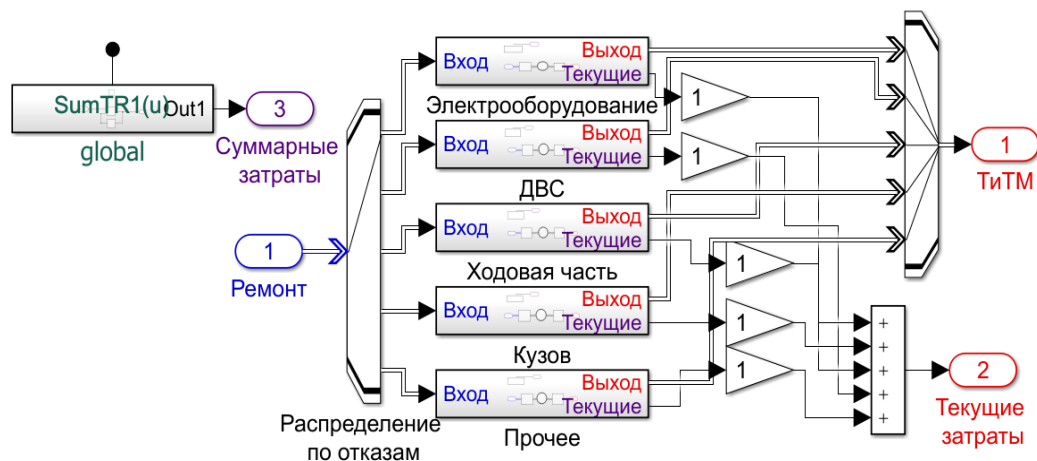


Рисунок 2 – Подсистема имитационной модели распределения трудозатрат при выполнении ремонта в среде SimEvents

В заключении можно отметить следующее.

1. Предложенный алгоритм моделирования процесса ТО-1 является типовым для описания функционирования постов ТО и Р, поэтому может использоваться в дальнейших работах по исследованию проблемы технической эксплуатации ЛЗМ.

2. Разработанная имитационная модель логична и достаточно адекватна для рассматриваемой процедуры, поэтому может использоваться в дальнейшем в практике совершенствования технической эксплуатации ЛЗМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Положение о техническом обслуживании и ремонте машин и оборудования лесозаготовительной промышленности. – Химки: ЦНИИМЭ, 1990. – 287 с.

2. Чамеев, В.В. Аналитические методы в исследовании технологических процессов лесопромышленного производства с применением теории массового обслуживания: учебн. пособие / В.В. Чамеев, В.В. Побединский, А.В. Солдатов. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2018. –116 с.

3. MATLAB® & Simulink® Release Notes for R20018. –URL: <http://www.mathworks.com>.

УДК 004.942 (632.125)

В.В. Побединский^{1,2}, проф., д-р техн. наук;
Е.В. Анянова¹, доц., канд. техн. наук; А.Ю. Чевардина¹, асп.
(УГЛТУ¹, УрГАУ², Екатеринбург)

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Аннотация. В работе рассмотрена проблема рекультивации нарушенных земель. В качестве примера исследуется территория, которая использовалась для утилизации породных отходов горнодобывающей промышленности. Описать процесс естественного зарастания растительностью чрезвычайно сложно, т.к. все параметры практически не поддаются статистическому описанию из-за неопределенности данных. Эта проблема формализации задачи решается путем привлечения теории нечетких множеств и ее практического приложения – нечеткого моделирования.

Ключевые слова: рекультивация нарушенных земель; теория нечетких множеств; нечеткие функции принадлежности.

По данным Департамента мелиорации Минсельхоза, примерно 130 млн га земель из фонда сельскохозяйственного назначения относятся к деградированным. *Сегодня деградация развивается со скоростью 1,5-2 млн га в год* [1]. Кроме того, продолжают увеличиваться площади, попадающие под техногенное воздействие. По данным Роскомстата [2] динамика увеличения площадей нарушенных земель при разработке месторождений полезных ископаемых (включая общераспространенные полезные ископаемые) показывает следующую картину: за 2015 площадь увеличилась на 77676 га; в 2016 на 104968; в 2017 на 178266; в 2018 на 71206, а в 2019 эта цифра увеличилась уже более, чем в полтора раза и составила 119309 га. Техногенные воздействия представляют особенно острую проблему, т.к. для большинства из них на практике не предусмотрены специальные рекультивационные мероприятия. Также невозможно достаточно точно определить период естественного восстановления земель, т.к. все параметры описывающие грунты, типы растительности, временные периоды характеризуются неопределенностью.

Наиболее важные информативные параметры – это типы грунтов и растительности. Если классифицировать грунты условно по показателю плодородия, то их можно подразделить на несколько следующих типов: каменистые грунты, песчанники, тощие грунты, среднего плодородия, плодородная почва. Однако по ГОСТ 25100 – 2020. ГРУНТЫ. Классификация, приводятся другие классификационные признаки, что может вносить значительную неопределенность в оценке плодородия и прогнозирования мероприятий рекультивации. Кроме того, в реальных условиях в процессе восстановления земель строго

точного подразделения на группы по классификационным признакам не наблюдается, а будет смешение типов почвогрунтов в том или ином соотношении.

Аналогичная картина наблюдается и для растительности в процессе естественного восстановления. Например, со временем периода восстановления будут проявляться такие характерные параметры растительности, как почво-покровные, мелкий кустарник, древесный кустарник, мелкие деревья, крупные деревья.

Для решения такого класса задач со свойствами неопределенности в данных используется теория нечетких множеств (ТНМ), которая позволяет достаточно математически корректно формализовать подобные данные [3].

Указанные параметры – типы грунта и растительности являются наиболее информативными для прогноза периода естественного восстановления земель. Естественным образом определился и выходной в данном случае параметр – время периода рекультивации, лет.

Ключевым понятием ТНМ является лингвистическая переменная, в данном случае для определения входных (тип почвогрунта, тип растительности) и выходной (время периода рекультивации) переменных. Зададим лингвистические переменные «Тип почвогрунта» и «Тип растительности» на универсуме значений по пятибалльной шкале. Выходную переменную «Период» определим в диапазоне от 0 до 30 лет, как это принималось в наших ранее проведенных экспериментальных исследованиях [4].

Для определения нечетких функций принадлежности примем треугольные функции, а по краям интервалов (в начале) z-образные и s-образные (в конце интервалов) и запишем их математические выражения для выходной переменной.

Для треугольной функции переменной «Период, T » в диапазоне от 6 до 15 лет она будет записана в следующем виде:

$$T = f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq 3 \\ \frac{x-3}{9-3}, & 3 \leq x \leq 9 \\ \frac{15-x}{15-9}, & 9 \leq x \leq 15 \\ 0, & x \geq 15 \end{cases} \quad (1)$$

Для z-образной функции в начале интервала от 3 до 9 лет будет следующее выражение:

$$T = f(x; a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq 3 \\ 1 - 2 \left(\frac{x-3}{9-3} \right)^2, & 3 \leq x \leq \frac{3+9}{2} \\ 2 \left(\frac{x-9}{9-3} \right)^2, & \frac{3+9}{2} \leq x \leq 9 \\ 0, & x \geq 9 \end{cases} \quad (2)$$

Для s-образной функции в конце интервала от 21 до 27 лет функция запишется выражением:

$$T = f(x; a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq 21 \\ 2 \left(\frac{x-21}{27-21} \right)^2, & 21 \leq x \leq \frac{21+27}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{x-27}{27-21} \right)^2, & \frac{21+27}{2} \leq x \leq 27 \\ 1, & x \geq 27 \end{cases} \quad (3)$$

В заключении можно отметить, что рассматриваемая задача прогнозирования процесса естественной рекультивации техногенно нарушенных земель более достоверно может решаться в рамках ТНМ и ее практического приложения нечеткого моделирования. Первым шагом для этого является соответствующая формализация исходных и выходных данных. Предложенные нечеткие функции принадлежности (1), (2), (3) являются достаточно математически корректными и могут быть рекомендованы для дальнейшей разработки нечеткой системы и исследований проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. АгроЭкоМиссия. База знаний по лучшим ресурсосберегающим технологиям земледелия. URL: <https://agriecomission.com/>
2. Охрана окружающей среды в России. 2020: Стат. сб./Росстат. – М., 2020. – 113 с.
3. Побединский, В.В. Диэлектрическая проницаемость лесного фонда в зависимости от параметров среды при радиочастотном мониторинге / В. В. Побединский [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28, № 2. С. 148–163. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201802.148-163>.
4. Анянова, Е. В. Применение метода системного анализа обработки информации для принятия решения при восстановлении нарушенных земель / Е. В. Анянова // Современные наукоемкие технологии. – 2019. № 10-2. – С. 233-238.

Н.В. Пацей, доц., канд. техн. наук;
Д.В. Шиман, доц., канд. техн. наук;
И.Г. Сухорукова, ст. преп.;
А.С. Наркевич, ст. преп.
(БГТУ, г. Минск)

МНОГОУРОВНЕВАЯ АРХИТЕКТУРА ОРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Распределенные информационные системы обеспечивают масштабируемость, высокую доступность, отказоустойчивость, репликацию и избыточность, которые обычно недоступны в централизованных информационных системах. Параллельное распределение задач способствует их быстрому выполнению. Обеспечение безопасности, аутентификации и рабочих процессов авторизации выполняется просто, система слабо связана [1–2].

В архитектуре распределенной системы можно выделить разные уровни, которые разбивают обработку на несколько разных частей.

Уровень сбора и подготовки данных (*Data collection and preparation layer*) принимает на вход данные из разных внешних источников. Часто потоки данных не имеют стандартной структуры или формата, поэтому это сырой, неструктурированный или полуструктурированный набор [3–5].

Перемещение данных уязвимо с точки зрения нарушений безопасности. Уровень безопасности данных (*Data security layer*) должен гарантировать целостность и конфиденциальность при передаче данных, выполняя наблюдения и применяя протоколы безопасности, шифрования и прочие механизмы [1–3].

Уровень хранения данных (*Data storage layer*) использует разные подходы. Если аналитика выполняется в реальном времени (поточковая обработка), то при хранении используется размещенный в памяти кеш. Если данные обрабатываются традиционным способом, например, при пакетной обработке, для хранения данных используют распределенные базы данных.

Распределенный кеш, является предпочтительным выбором для облачных вычислений. *Google Cloud* использует *Memcache* для кэширования данных на своей публичной облачной платформе. *Redis* использует хранилища данных *NoSQL* и другие варианты.

Распределенный кеш представляет распределенную хеш-таблицу, которая отвечает за сопоставление значений объекта с ключами, распределенными по нескольким узлам. Распределенная таблица хеширования позволяет масштабировать кеш на лету, она управля-

ет добавлением, удалением и отказом узлов постоянно, пока служба находится в оперативном режиме.

Что касается параллелизма, с ним связано несколько концепций, таких как конечная согласованность, строгая согласованность, распределенные блокировки, журналы фиксации и прочее. Распределенный кеш часто работает с координаторами распределенных систем, такими как *Zookeeper*. Это облегчает обмен данными и помогает поддерживать согласованное состояние между несколькими работающими узлами кеша.

Существуют разные виды стратегий кеширования, которые подходят для конкретных случаев использования. Это *Cache Aside*, *Read-through cache*, *Write-through cache* и *Write-back* [6]. Популярные распределенные системы кеширования – *Eh-cache*, *Memcache*, *Redis*, *Riak*, *Hazelcast*.

Уровень обработки данных (*Data processing layer*) содержит реальную логику и отвечает за обработку и извлечение значимой информации. Для этого используются технологии машинного обучения, прогнозирования, описания и моделирование.

Уровень визуализации данных (*Data visualization layer*) обычно содержит информационные панели на основе браузера, которые отображают информацию в виде графиков, диаграмм, инфографики. *Kibana* – один из примеров инструмента визуализации данных, популярного в отрасли [7].

В настоящее время популярными технологиями распределенной обработки являются – *MapReduce (Apache Hadoop)*, *Apache Spark*, *Apache Storm*, *Apache Kafka*. *Kafka* используется для платформ уведомлений, управления потоками больших объемов данных, мониторинга активности и показателей веб-ресурсов, обмена сообщениями и агрегирования журналов. *Hadoop* предпочтительнее для пакетной обработки данных, тогда как *Spark*, *Kafka* и *Storm* больше подходит для обработки потоковых данных в реальном времени.

Также, существуют две основные архитектуры, используемые в распределенной обработке данных, это – *Lambda* и *Kappa*.

Lambda – распределенная архитектура обработки данных, которая использует как пакетный, так и потоковый подход к обработке данных в реальном времени. Он объединяет результаты перед тем, как представить их пользователю (рис.1).

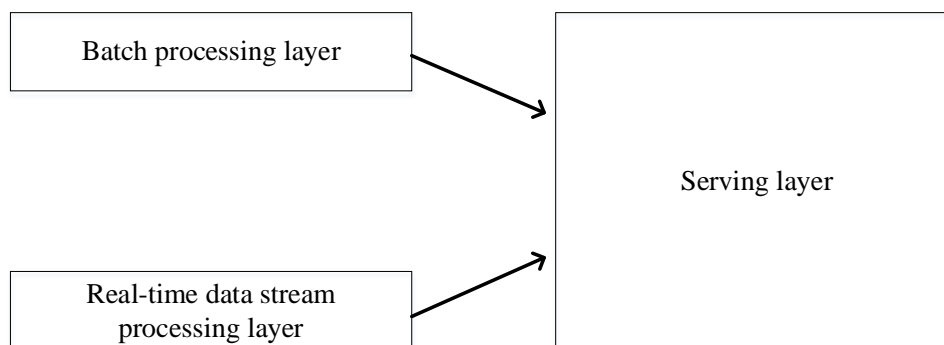


Рисунок 1 – Lambda архитектура системы обработки данных

Пакетная обработка требует времени, учитывая огромное количество данных, но точность подхода высока.

Обработка потоковых данных в реальном времени обеспечивает быстрый доступ к аналитической информации. При этом сценарии аналитика выполняются для небольшой части данных, поэтому результаты не такие точные и исчерпывающие по сравнению с результатами пакетного подхода.

В *Kappa* архитектуре все данные проходят через один конвейер потоковой передачи данных, что снижает сложность управления отдельными уровнями. *Kappa* содержит только два уровня: *Speed*, который является слоем потоковой обработки, и *Serving* – слой обслуживания [8]. *Kappa* не является альтернативой *Lambda*. Обе архитектуры имеют свои варианты использования. Обе архитектуры могут быть реализованы с использованием технологий распределенной обработки данных.

Проектирование и разработка распределенных систем является трудной задачей по следующим причинам: необходимо учитывать множество сочетаний ошибок и сбоев; проблемы возникают на всех рассмотренных уровнях распределенной системы и могут распространяться, в частности проблемы усугубляются на верхних уровнях системы из-за рекурсий; многие проблемы обусловлены законами физики сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Distributed system URL: <https://www.scaleyourapp.com/category/distributed-systems/> (дата обращения 12.02.2022).
2. Архитектура современных распределённых систем [Электронный ресурс] : электрон. учеб.- метод. комплекс по дисциплине в LMS Moodle / Мин-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. С. В. Востокин. - Электрон. текстовые и граф. дан. - (дата обращения 12.09.2021).

3. Таненбаум Э. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / М. ван Стеен. – СПб. [и др.] : Питер , 2003. – 877 с.
4. Востокин С.В. Графическая объектная модель параллельных процессов и ее применение в задачах численного моделирования / С.В. Востокин. Изд-во Самарского научного центра РАН – Самара, 2007. – 186 с.
5. Мосин С.В., Зыкин С.В. Кэширование запросов к реляционной базе данных с использованием областей истинности. Моделирование и анализ информационных систем, 22(2), 2015 – С. 248-258.
6. Read-Through, Write-Through, Write-Behind, and Refresh-Ahead Caching URL: https://docs.oracle.com/cd/E15357_01/coh.360/e15723/cache_rtwtwbra.htm (дата обращения 12.01.2022).
7. Kibana: Explore, Visualize, Discover Data URL: <https://www.elastic.co/kibana/> (дата обращения 12.01.2022).
8. Каппа архитектура URL: <https://www.bigdataschool.ru/blog/kappa-architecture.html> (дата обращения 03.01.2022).

UDC 316.776

N.V. Patsei, PhD.; G. Jaber, PhD stud. (BSTU, Minsk)

ROUTING OF NAMED DATA OBJECT WITH SEMANTIC PART OF NAME IN INFORMATION-CENTRIC NETWORKING

According to previous research it was proposed the three-dimension address for NDO (Name data objects) [1–3]. As follows, the three tables design. The first table matches semantic addresses to publisher ID address. The second table matches publisher ID address to geographical address. The third table matches semantic address to geographical address.

Let's walk through the process of adding, removing and matching an entry to the routing table on an NDO request.

If a subscriber sends Interest Request Message (IRM) and it reaches the router, the router will search its tables for an entry match. There are three cases:

Case 1: If there is no positive match between IRM and any addressing table in the router, the router will broadcast IRM to the network from all its interfaces in a spanning tree technique to avoid loops. When IRM reaches the match in any router caching the content or even in the original publisher cache, the latest will send a reply message to all requested interfaces, which sent IRM to it containing the data with the three publisher addressing dimensions. The reply message CRM (Content Reply Message)

will allow updating all the routing tables across the requested paths towards the subscriber who sent the IRM for the first time. Thus, when there are no previous records in the tables, it will be created with a default TTL (Time To Live);

Case 2: If positive naming matches occurs between IRM and routing table and the router already caches the content, TTL will be updated (increased) in the routing table more specifically TTL, which represents time to live in the cache, will be calculated based on the number of subscribers interested in the address and the number of usages of this address. Then the reply message ARM (Address Reply Message) will be sent to the subscriber with the three addresses dimensions without the content to allow the subscriber to choose;

Case 3: If positive naming matches occurs between IRM and routing table but the content is not cached locally in the router, the router will forward the message toward the nearest publisher which could be a relay cache or the original publisher directly from the interface connected towards them since their ID or IP are recorded in the table. The latest will send the reply message (ARM) with its three addressing dimensions. This case applies when the subscriber making a video call or asks for a video from certain publisher as you tube.

After many requests, the TTL will reach a threshold defined by the administrator (threshold TTL_{th}) allowing to caching the data and as TTL increases data caching time will increase. In all cases, the interfaces in the tables will be learnt from the interface that passed the reply message

Now let's review the process of removing records from the routing table. TTL will decay automatically with a ratio γ defined by the administrator. If TTL reaches the minimum threshold i.e., ($TTL =$) which means there no interests from subscriber exists for a long time, then the record will be removed from the table and from the cache, if it exists which will allow the table to be always dynamic and up to date. Considering the case of subscriber message coming from interface matches the advertised naming of the publisher, the router will automatically increase the TTL of this interface if the match of the data already increases. However, if it was not existed, the source interface of the subscriber message will be added to the publisher record in the routing table and then increase TTL.

Another important process is merging. Merging is the process to generalize the addresses in the routing table in order to reduce its size. In semantic address, the specific relations will be merged into the general relations. In publisher ID address, the table will keep the most general publisher ID depending on the number of requests. In geographical address, the merge will take place on the network. If we have any super network and the

subnetwork on the same interface, super network will be considered and the sub network will be discarded.

Matching is the process of comparing the addresses of the IRM to the addresses existed in the routing tables and find the best match based on the longest prefix match. Matching occurs on three levels based on the IRM address content: semantic matching, geographical matching, and publisher ID matching.

Semantic matching: each semantic address is composed of a set of ORO chains. When an IRM holding a semantic address is requested, the router will search for the ORO chains of this semantic address in the geo-semantic and semantic-ID routing tables respecting the logical relations (or/XOR/and/in/super) determined by the user. Knowing that in semantic matching the router choose from its tables only ORO chains from the same information source (Publisher ID, Geographical IP). In a brief, the semantic matching is the matching of the semantic address by matching all chains for the same source.

Geographical matching: when an IRM holding a geographical address is requested, the router will search for the longest prefix match in the geo-semantic and geo-ID tables to route IRM to the requested information source. If the requested IP is not found in the last router, because the mobility of the user, this router will multicast the prefix to all the nearest neighbor subnets with fixing the suffix which is based on EUI64 address assignment (for more details about how to reach a mobile user see mobility section).

Publisher ID matching: when an IRM holding a Publisher ID is requested, the router will search for this publisher in the semantic-ID and geo-ID tables. When the router finds a positive match respecting logical relations, it will route the IRM toward the source of information using the geographical address.

We addressed the problem of Routing in the field of Information-Centric Networking (ICN) where a new semantic-based scheme is proposed to solve the obstacles facing IP networks.

REFERENCES

1. G. Jaber, N.V. Patsei 3D-ROUTING TABLE ALGORITHMS IN SEMANTIC INFORMATION CENTRIC NETWORKING // Информационные технологии : материалы 84-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 4-14 февраля 2020 года [Электронный ресурс] / отв. за издание И.В. Войтов; УО БГТУ. – Минск : БГТУ, 2020. – с. 79-80.

2. Jaber, G. Semantic information-centric networking naming schema / G. Jaber, N. V. Patsei, F. Rahal // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. - Минск : БГТУ, 2020. - № 1 (230). - С. 69-73.

3. Jaber G, Patsei N., Rahal F., Abboud A. Naming and Routing Scheme for Data Content Objects in Information-Centric Network // 2020 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eS-tream): Proceedings of the Conference : April 30, 2020, Vilnius, Lithuania, . IEEE -2020. P.93-97.

УДК 316.776; 004.056.5

Е.А. Гончар, маг.; Ю.А. Чистякова, преп.-стажер;
А.С. Пахолко, ассист. (БГТУ, г. Минск)

УГРОЗЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СЕТЕЙ

Информационно-ориентированная сеть (*ICN* – *Information Centric Network*) – это новая сетевая парадигма, которая заменяет широко используемую, ориентированную на хост, в сетях связи (например Интернет, мобильные специальные сети) с информационно-ориентированной парадигмой, которая определяет приоритет доставки именованного контента, не обращая внимания на происхождение контента.

Парадигма *ICN* по своей сути поддерживает несколько функций безопасности и конфиденциальности, которые все еще недостаточно доступны в парадигме, ориентированной на хост.

Однако, *ICN* имеет несколько нерешенных проблем, связанных с безопасностью и конфиденциальностью, как старых, так и новых. На данный момент любой контент ориентирован на запросы пользователя, а, значит, должен обладать такими свойствами как: отказоустойчивость, быстрый доступ к контенту, высокая скорость доставки, а также безопасность конечного пользователя и контента потребляемого им. Использование архитектуры *ICN* сокращает время простоя системы из-за сбоев сервера, например, такие сбои были у пользователей *Netflix*, *Pinterest* и *Instagram* в США (22 октября 2012 г.). Таким образом, учитывая высокую скорость развития данного направления должны решаться важные задачи, связанные с безопасностью: обеспечение приватности и контроль доступа.

Учитывая то, что именованный контент может храниться где угодно в сети; каждый информационный объект должен быть уни-

кально адресован и запрошен. За последнее время было предложено несколько архитектур *ICN*, таких как: сеть именованных данных / контент-ориентированная сеть (*NDN – Named Data Networking/ CCN – Content-Centric Networking*), парадигма Интернет-маршрутизации с публикацией и подпиской (*PSIRP*), сетевая архитектура, ориентированная на данные (*DONA*), и сеть информации (*NetInf*). Хотя они различаются по своим деталям, у них есть несколько основных свойств: уникальное имя для контента, маршрутизация на основе имени, всеобъемлющее кэширование и гарантия целостности контента.

Согласно анализу работ [1] и [2] можно выделить следующие виды угроз для *ICN*:

1. DDoS/DoS;
2. атака с отравлением контентом;
3. атака с загрязнением кэша;
4. прочие.

DoS-атаки – это атаки, которые могут быть нацелены либо на промежуточные маршрутизаторы, либо на поставщиков контента. Самый простой тип атаки – обращение к контенту, которого нет многократно (рис. 1).

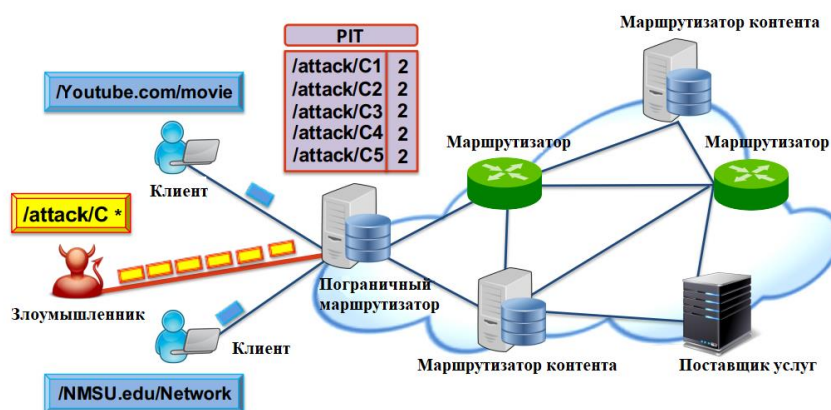


Рисунок 1 – Пример *DoS*-атаки на *ICN*

Для решения данной проблемы в [3] были предложены три подхода для борьбы с атаками в *NDN*. Они использовали небольшую модификацию хорошо известного алгоритма *Token Bucket*, в котором каждый маршрутизатор ограничивает количество ожидающих запросов “интереса” для каждого интерфейса, пропорционально его пропускной способности (произведение пропускной способности и задержки). Этот метод не очень эффективен, поскольку маршрутизатор может использовать всю пропускную способность канала для удовлетворения “интересов” злоумышленника, что снижает степень удовлетворения “интересов” законных клиентов. В предложенном подходе

маршрутизатор гарантирует, что пропускная способность исходящего канала равномерно распределяется между трафиком от всех входящих интерфейсов. Для этого в *PIT (Pending Interest Table)* добавлен новый столбец, в котором каждый запрос “*интереса*” обозначается как пере-направленный или находящийся в очереди. Маршрутизатор также поддерживает очередь для каждого входящего интерфейса. Это улучшение частично решает проблему, поскольку злоумышленник на одном интерфейсе не сможет использовать все ресурсы маршрутизатора. Однако, даже при таком подходе нет различия между злоумышленником и легитимным клиентом. “*Интересы*” как злоумышленников, так и законных клиентов ограничены по скорости, если они происходят на высокоскоростном интерфейсе.

Цель атаки с отравлением контента – заполнить кеш-память маршрутизатора недопустимым содержимым. Чтобы провести эту атаку, злоумышленник должен управлять одним или несколькими поставщиками контента или промежуточными маршрутизаторами, чтобы он мог внедрить свой собственный контент в сеть. Внедренный контент должен иметь действительное имя, соответствующее “*интересам*”, но поддельное информационное наполнение или недействительную подпись (рис. 2).

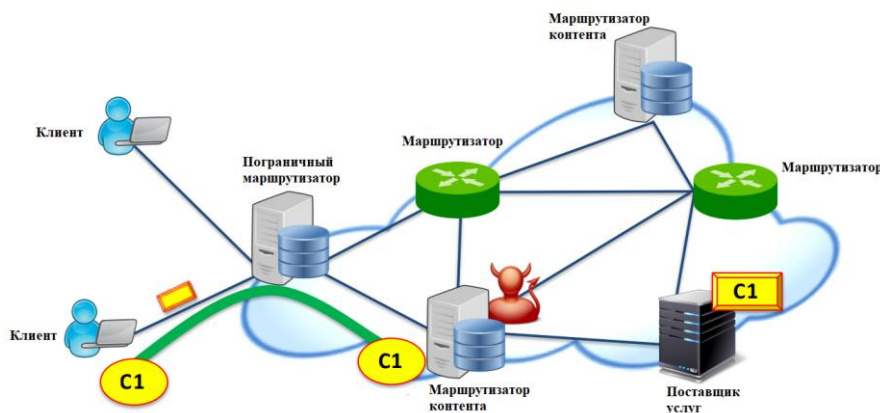


Рисунок 2 – Атака с отравлением контента

В [4] были впервые рассмотрены атаки отравления контента/кэша. В качестве меры противодействия было предложено использовать «самосертифицирующийся пакет интересов/данных» (*SCID – (Self-Certifying Interest/Data Packet)*), который помогает маршрутизаторам пересылки проверять полученные фрагменты контента. Перед отправкой запроса “*интереса*” клиент должен получить от поставщика контента хэш, имя и подпись желаемого фрагмента; эта информация затем присоединяется к “*интересам*”. При получении блока содержимого маршрутизатор может легко проверить его действительность, сравнив его хэш с хэшем из пула. Этот метод менее требовате-

лен к вычислениям, чем традиционная проверка подписи на основе *RSA*, однако он требует, чтобы клиент заранее получил хэш для каждого фрагмента/пакета данных. Необходимо, чтобы клиент запросил поставщика непосредственно перед запросом контента, что резко увеличивает задержку при извлечении контента и ограничивает масштабируемость.

В качестве альтернативного решения предлагается выполнить проверку подписи кэшированного содержимого маршрутизаторами. В базовой модели каждый маршрутизатор случайным образом выбирает блоки контента для проверки, проверяет подписи выбранных фрагментов и отбрасывает все поврежденные. Чтобы предотвратить избыточную проверку, маршрутизаторы совместно выбирают диапазон блоков контента для проверки. Чтобы уменьшить накладные расходы, предлагается использовать принятие решений с обратной связью с клиентом, при котором клиент может информировать свой граничный маршрутизатор о достоверности каждого фрагмента контента. Однако, этот тип обратной связи также может использоваться злоумышленниками для введения в заблуждение маршрутизаторов, сообщая о законных объектах контента как о поддельных, или наоборот.

Таким образом, был выполнен анализ ряда проблем и угроз в сетях, построенных в соответствии с архитектурой *ICN*, рассмотрены методы борьбы с основными угрозами и определены недостатки этих методов. Следует отметить, что методика обеспечения безопасности для архитектур *ICN* находится в стадии разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. C. Dannewitz. NetInf: An information-centric design for the future Internet. In 3rd GI/ITG KuVS Workshop on The Future Internet, 2009.
2. E. AbdAllah, H. Hassanein, and M. Zulkernine. A survey of security attacks in information-centric networking. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17:1441–1454, 2015.
3. A. Afanasyev, P. Mahadevan, I. Moiseenko, E. Uzun, and L. Zhang. Interest flooding attack and countermeasures in named data networking. In *Proceedings of IFIP Networking Conference*, pages 1–9. IEEE, 2013.
4. P. Gasti, G. Tsudik, E. Uzun, and L. Zhang. Dos and ddos in named data networking. In *22nd International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*, pages 1–7. IEEE, 2013.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОСЕРВИСНЫХ АРХИТЕКТУР ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Микросервисная архитектура – подход к разработке программного обеспечения, при котором приложение разбивается на небольшие автономные компоненты (микросервисы) с четко определенными интерфейсами.

Монолиты – это приложения, построенные как единое целое, где вся логика по обработке запросов помещается внутрь одного процесса. Разумеется, монолиты могут иметь модульную структуру – содержать отдельные классы, функции, пространства имен. Но связи между этими модулями настолько сильны, что изменение каждого из них неизбежно отражается на работе приложения в целом [1].

Недостатки монолитной архитектуры:

1. избыточность сборок и развертывания;
2. невозможность масштабирования части приложения;
3. увеличение цены сбоя;
4. сложность внедрения новых технологий;
5. организационные сложности;
6. редкость обновлений;
7. сильная зависимость от модели данных.

Для небольших и редко обновляемых приложений такая архитектура может работать прекрасно, но по мере наращивания функциональности межмодульные связи в монолите будут неизбежно увеличиваться и усложняться, изменения в одних модулях будут все больше влиять на другие – в итоге дальнейшее развитие таких систем становится крайне затруднительным. В этом случае лучшим решением будет использование микросервисов.

В отличие от монолитов, в микросервисной архитектуре приложение строится как набор небольших и слабосвязанных компонентов (микросервисов), которые можно разрабатывать, развертывать и поддерживать независимо друг от друга.

Ключевые преимущества микросервисов по сравнению с монолитами:

1. простота развертывания;
2. оптимальность масштабирования;
3. устойчивость к сбоям;
4. возможность выбора технологий;
5. небольшие команды разработки;

6. уменьшение дублирования функциональности;
7. упрощение замены сервисов при необходимости;
8. независимость моделей данных.

Несмотря на множество преимуществ, микросервисы далеко не всегда оказываются оптимальным вариантом, у них есть несколько особенностей, которые стоит учитывать при выборе архитектуры.

Микросервисы по своей природе распределены, а это, как известно, имеет свои недостатки: удаленные вызовы медленнее и чаще подвержены сбоям. Если ваш микросервис обращается к десятку других микросервисов, а те, в свою очередь, вызывают еще несколько, то итоговое время отклика значительно возрастает. Также по мере увеличения взаимодействий микросервисов друг с другом возрастает и число возможных точек отказа [2].

Известны несколько путей решения этой проблемы:

- изменить детализацию своих вызовов таким образом, чтобы сократить их количество;
- использовать асинхронность: при параллельном выполнении нескольких вызовов конечное время отклика будет определяться самым медленным из них, а не суммой всех задержек.

Оба метода усложняют модель программирования и увеличивают требования к квалификации разработчика. Рост числа небольших независимых сервисов неизбежно увеличивает операционную сложность. Возрастает роль непрерывной интеграции и доставки, ведь невозможно обрабатывать десятки услуг без автоматизации их тестирования и развертывания. Повышаются требования к мониторингу, особенно в силу технологической разнородности сервисов.

Чтобы справиться с возросшей нагрузкой, компании нужно овладеть целым рядом новых навыков и инструментов, и важнейший из них – внедрение культуры DevOps. Необходимо обеспечить тесное сотрудничество программистов, тестировщиков, инженеров сопровождения и прочих участников разработки продукта на всех этапах его жизненного цикла. Далеко не все организации смогут справиться с таким количеством изменений, но изменения во взаимодействии команды необходимы.

Если разработка монолитных приложений без повышения квалификации и овладения новыми навыками со временем становится затруднительной, то разработка микросервисов – вовсе невозможна.

Микросервисы порождают возможные проблемы с согласованностью из-за применяемого в них децентрализованного управления данными. В монолитном приложении можно выполнить множество

связанных изменений за одну транзакцию, и вы будете уверены, что в случае сбоя произойдет откат и согласованность данных сохранится.

Микросервисам же требуется несколько ресурсов для выполнения цепочки изменений, распределенные транзакции не приветствуются – поэтому может возникнуть ситуация, когда при обновлении одного компонента временно перестанет отвечать другой, ожидая завершения операции на первом.

При разработке определенных сервисов можно отдать предпочтение не согласованности, а доступности: чтобы в случае обновления или выхода из строя одного сервиса, другие продолжали работу. Но делать это нужно крайне осторожно, чтобы бизнес-логика не приняла решения на основе противоречивой информации [3].

Признаками того, что для приложения необходимо применять микросервисную архитектуру следующие:

1. большая команда: если у вас работает больше 10 человек, команда растет, все сложнее погружать новичков целиком в предметную область, то микросервисы помогут стандартизировать разработку и упростить командную работу;

2. множество взаимодействующих модулей в приложении: если их количество измеряется десятками, однозначно стоит задуматься о микросервисах;

3. объемный код: приложение с многомиллионными строками кода со временем все тяжелее поддерживать и развивать как монолит;

4. долгое время запуска приложений (полчаса и более): переход на микросервисы позволит устранить вынужденные простои и эффективно использовать время разработчиков;

5. различные требования к ресурсам в рамках одного приложения: использование микросервисов идеально в случаях, когда у разных компонентов отличаются требования к центральному процессору, памяти и так далее;

6. если необходимо обеспечить своевременный выход обновлений, микросервисы являются предпочтительным вариантом, так как по скорости развертывания они значительно лучше монолитных приложений;

7. высокий трафик со склонностью к периодическим всплескам нагрузки: микросервисы отлично сочетаются с автомасштабированием и облачной моделью, которые позволяют использовать ресурсы только тогда, когда в них есть необходимость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ньюмен С. Создание микросервисов 2-е издание. – СПб.: Питер, 2021. – 625 с.

2. *Microservice Architecture* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://microservices.io/>. – Дата доступа: 30.01.2021.

3. Ричардсон К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга. – СПб.: Питер, 2019. – 544 с.

УДК 316.776

Я.Ю. Навроцкий, асп.; Н.В. Пацей, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ПРИНЦИПЫ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СЕТЯХ

Информационно-ориентированная сеть (*ICN* – *Information Centric Networking*) – интернет-архитектура, построенная на основе именованных объектов данных (*NDO* – *Named Data Object*), в которой адресным элементом протокола является контент (информация), а не конечные точки хоста, предоставляющие к ней доступ. Основным действующим проектом реализации *ICN* сети является *NDN* (*Named Data Network*). В маршрутизаторах (*forwarders*) *NDN* используется таблица маршрутизации *FIB* (*Forwarding Interest Base*) на основе которой, определяется следующий адресат сообщения запроса. Из-за того, что в *FIB* ключом является название *NDO*, а также из-за неограниченного количества имен в сети, происходит быстрое увеличение количества записей в *FIB*, что в свою очередь требует множества ресурсов [1].

Гиперболическая маршрутизация – это жадный алгоритм маршрутизации, основанный на полярных координатах узлов (r – радиус, θ – угол), расположенных в неевклидовой плоскости, которые отображают сетевую геометрию [2]. При гиперболической маршрутизации, каждый узел знает свои собственные координаты, координаты своих соседей и координаты *NDO*, которые несет запрос –сообщение *Interest*. На основе данных координат маршрутизатор вычисляет расстояние между ним, соседями, конечным получателем и отправляет сообщение соседнему узлу с оптимальным путем. При использовании такого подхода, маршрутизаторам не нужно поддерживать полноценный *FIB*, достаточно хранить небольшой кэш рассчитанных маршрутов или «мертвых» маршрутов – маршрутов, которые не способны предоставить запрашиваемые данные, что значительно сократит количество ресурсов затрачиваемых на маршрутизацию [2–4].

Вопрос присвоения гиперболических координат именам *NDN* все еще остается открытым. Основная проблема решения данного вопроса заключается в том, что в настоящее время нет крупномасштаб-

ного развертывания *NDN* или его полноценной модели, с которой можно было бы экспериментировать. Для решения задачи с назначением координат *NDO*, а так же других операционных проблем предполагается введение какого-либо выделенного сервиса. В настоящее время прообразом такого сервиса является *DNS*. Изначально предназначенный для предоставления простой службы сопоставления имен и *IP*-адресов, *DNS*, представляет собой большую, хорошо масштабируемую и сильно распределенную базу данных, основанную на иерархии имен и управляемую с ее помощью.

Сценарий выполнения запроса данных при гиперболической маршрутизации схож с классическим подходом в *NDN*, за исключением того, что добавляется новый сервис, предоставляющий координаты *NDO*, с которого начинается выполнение запроса. Клиент отправляет запрос на получение координат *NDO*. Полученные координаты добавляются в сообщение *Interest* и передаются на маршрутизатор. Маршрутизатор, получив сообщение *Interest*, проверяет локальную базу *NDO – Content Store (CS)* на наличие в ней запрашиваемого объекта, если он найден, то маршрутизатор сразу формирует сообщение ответа и возвращает его клиенту. Если *NDO* не найдено в *CS*, маршрутизатор проверяет наличие записи в таблице ожидания запросов *PIT (Pending Interest Table)*. *PIT* содержит активные запросы *NDO* и клиентов, которые их ожидают. Данный подход позволит сократить трафик в сети и уменьшить время ответа на сообщение *Interest* за счет агрегации запросов. Если в *PIT* есть запись с запрашиваемым *NDO*, то маршрутизатор добавляет в нее нового клиента и на этом обработка сообщения *Interest* прекращается. После создания записи в *PIT*, маршрутизатор проверяет видоизмененный *FIB* на наличие результатов вычисления длины маршрутов. Если таковых нет, то создает их, где ключом будут координаты *NDO*, значением – длина маршрута. Завершающим этапом обработки сообщения *Interest* вверх по сети является выбор оптимального маршрута на основе данных *FIB*. Описанный процесс маршрутизации сообщения *Interest* представлена на рис.1.

Была проведена экспериментальная оценка работы модели *NDN* сети с гиперболической маршрутизацией в сравнении со стандартной по двум параметрам: время выполнения сценария, количество пересадок сообщения *Interest*. Оценки проводились в ранее созданной среде с моделью сети [5–6], представленной на рис.2 и набором параметров, перечисленных в таблице. Стоит упомянуть, что сложность получения записи из *FIB* в обоих случаях равна $O(n)$, и, возможно, при реализации *FIB* на основе хеш-таблиц со сложностью доступа к элементу $O(1)$ время выполнения сценариев будет с меньшим разрывом.

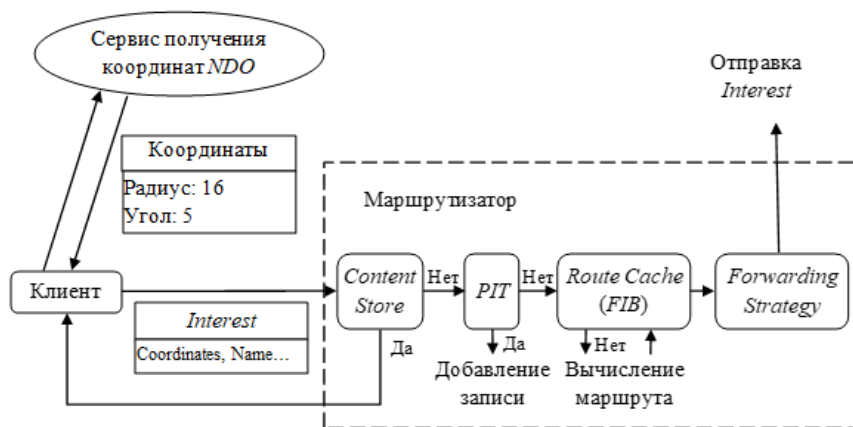


Рисунок 1 – Схема маршрутизация сообщения *Interest* с гиперболической маршрутизацией

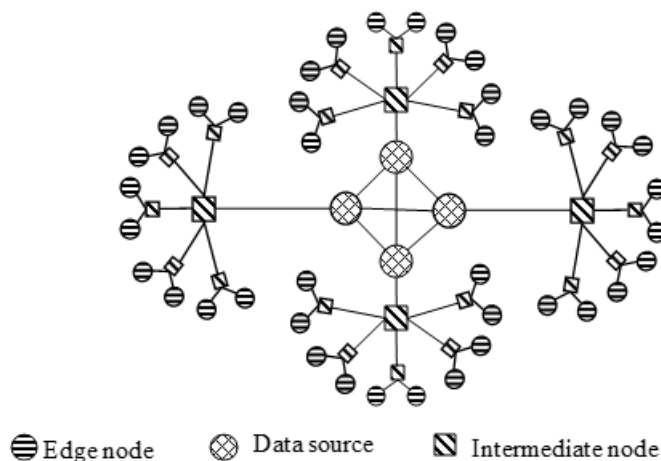


Рисунок 2 – Модель *NDN* сети

Таблица – Параметры моделирования *NDN* сети

Параметр	Значение
Размер каталога	10^4
Размер кэша	10
Кол-во запросов клиента	10^3
Политика кэширования	Progressive
Область знаний клиента	100
Распределение запросов	Zipf
Тип маршрутизации	Стандартная, Гиперболическая

Экспериментальные результаты моделирования показали, что время выполнения сценариев при использовании гиперболической маршрутизации меньше на 10–12% (18.8 сек. против 21.2 сек. при стандартной маршрутизации), но при этом количество переадресаций сообщения *Interest* вверх по сети возрастает на 2–3% (8.22^8 против 7.98^8 при стандартной схеме маршрутизации).

Таким образом, использование гиперболических схем маршрутизации в *ICN* с высокой вероятностью позволит спроектировать высокодинамичные сети, хотя и требует пересмотра процессов переадресации, и может иметь практическое приложение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Xylomenos G., Ververidis C. N., Siris V. A., Fotiou N. Survey of Information-Centric Networking Research // IEEE Communications Surveys & Tutorials – vol. 16. – 2014. P.1024-1049.
2. Papadopoulos F., Krioukov D., Boguña M., Vahdat A. Greedy Forwarding in Dynamic Scale-Free Networks Embedded in Hyperbolic Metric Spaces // in IEEE INFOCOM. Mar 2010. P. 2973-2981.
3. Boguña M., Papadopoulos F., Krioukov D. Sustaining the Internet with Hyperbolic Mapping // Nature Comms, vol. 1. – 2010. P.64.
4. Afanasyev A., Addressing operational challenges in named data networking through ndns distributed database // Ph.D. dissertation, University of California Los Angeles – 2013. 162 p.
5. Навроцкий, Я.Ю. Алгоритмы маршрутизации именованных объектов в информационно-ориентированных сетях / Я. Ю. Навроцкий, Н. В. Пацей // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. - Минск : БГТУ, 2020. - № 1 (230). - С. 79-87
6. Navrotsky Y., Patsei N. Zipf's Distribution Caching Application in Named Data Networks // 2021 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream): Proceedings of the Conference : April 30, 2021, Vilnius, Lithuania, . IEEE -2021. P.1-4

УДК 004.93

И.Г. Сухорукова, ст. преп.
(БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРЕЙМВОРКА MEDIAPIRE В МУЛЬТИ-МЕДИЙНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

Современные подходы к решению задач компьютерного зрения широко используют нейронные сети. И если ранее из-за невысокой производительности клиентских устройств вычисления производились на сервере, то уже сейчас возможно запускать небольшие модели на клиентских устройствах в режиме реального времени. Помимо запуска модели требуется выполнять предобработку и постобработку данных. Для создания и запуска таких пайплайнов машинного обучения (предобработка данных, запуск модели, постобработка результа-

тов модели), существует удобный фреймворк с открытым исходным кодом, представленный компанией Google – MediaPipe.

При помощи MediaPipe можно создать прототип, не углубляясь в написание алгоритмов и моделей машинного обучения, используя существующие компоненты. Это упрощает разработку различных приложений для обработки изображений и виртуальной реальности. MediaPipe поддерживает различные аппаратные и операционные платформы, такие как Android, iOS и Linux, предлагая API на C ++, Java, Python и т. д.

MediaPipe предоставляет компоненты для обнаружения объектов, детектирования лиц, отслеживания положения рук, отслеживания позы человека и т.д. Для примера рассмотрим компонент отслеживания позы человека. Модель отслеживания позы в MediaPipe Pose прогнозирует расположение 33 точек скелета, включая ориентиры лица (уши, глаза, рот и нос) и точки на руках и ногах (рис.1), где каждой точке соответствуют 3 нормализованные пространственные координаты: x, y и z (глубина). Полученные точки можно использовать в качестве маркеров в приложениях виртуальной реальности или для классификации поз человека, например, в приложениях для спорта.

Для обеспечения требуемой скорости в решении используется двухэтапный конвейер машинного обучения «детектор-трекер», используя детектор, конвейер сначала находит интересующую область человека/позы (ROI) в кадре. Затем трекер прогнозирует ориентиры позы и маску сегментации в области интереса. Детектор вызывается только по мере необходимости, то есть для самого первого кадра и когда трекер больше не может идентифицировать присутствие позы тела в предыдущем кадре.

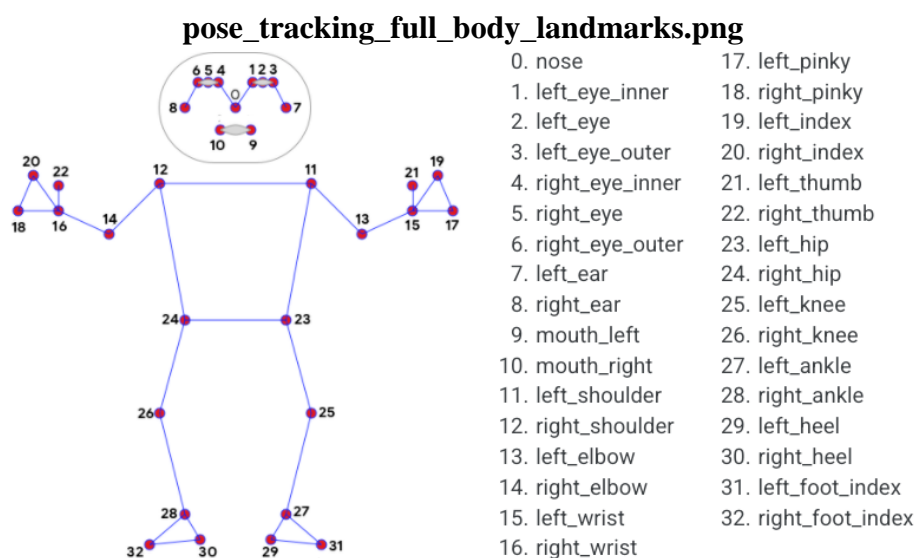


Рисунок 1 – Ориентиры позы человека в MediaPipe Pose

Полученные точки ориентиры можно использовать для обучения собственных моделей. В качестве вектора признаков возможно использовать расстояния между точками ориентирами, например, между запястьем и плечом при отжимании, лодыжкой и бедром при приседании или углы для различных суставов в классификации поз йоги. Такое упрощение векторов признаков позволяет получать хорошие результаты, используя классические методы машинного обучения.

Прототип приложения с использованием MediaPipe, реализованный на Python показал, что детектирование точек ориентиров очень стабильно, а точность достаточно высока на близких и больших расстояниях, при этом модель обрабатывает видео в режиме реального времени при высоких значениях fps.

Использование MediaPipe значительно упрощает применение алгоритмов компьютерного зрения и машинного обучения в приложениях для мобильных и стационарных устройств, обеспечивает хорошую скорость обработки потокового видео с камеры устройства, открывая тем самым большие возможности для реализации мобильных приложений, использующих камеру устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. MediaPipe Pose [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://google.github.io/mediapipe/solutions/pose.html> (дата обращения 31.01.2022).

СОВРЕМЕННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ

Проблемы образовательных технологий, огромный опыт педагогических инноваций, авторских школ и педагогов-новаторов постоянно требуют обобщения и систематизации.

Современные образовательные технологии выделились в отдельный, относительно самостоятельный раздел педагогики. Сегодня существует более 300 определений самой образовательной технологии.

Образовательная технология, с точки зрения автора, – это продуманная во всех деталях модель совместной педагогической деятельности по проектированию, организации и проведению учебного процесса с безусловным обеспечением комфортных условий для обучающихся и преподавателя.

Современные образовательные технологии базируются на “трех китах”:

- четкая постановка целей обучения, ориентация всех процедур на их гарантированное достижение;
- гибкое управление процессом обучения;
- оперативная обратная связь на основе системной диагностики учебных достижений обучающихся.

Технология обучения студентов, с одной стороны является самостоятельной отраслью наук об образовании, имеющей свой объект, предмет, свои теоретические и научно-методические принципы. С другой стороны, она представляет собой составную часть андрагогики – науки об обучении взрослых.

Таким образом, анализ известных понятий в понимании авторов, позволяет выделить следующие характеристики, которым должна отвечать образовательная деятельность, если она осуществляется в рамках той или иной педагогической технологии:

- системное представление о процессе обучения – его содержание, методы и средства взаимосвязаны и взаимообусловлены;
- структурными элементами педагогической технологии являются – цели и содержание обучения, средства педагогического взаимодействия, организация учебного процесса, преподаватель и студент во взаимодействии; результат деятельности;
- организация взаимодействия преподавателя и студента в рамках процесса обучения;

- осуществление контроля за процессом познавательной деятельности студентов.

В тоже время, образовательная технология должна удовлетворять основным методологическим принципам (концептуальность, системность, управляемость, эффективность, воспроизводимость).

Современные образовательные технологии подготовки кадров используют значимые объемы информации, которые не возможно анализировать без компьютерной поддержки. Автором разработана и практически используется в образовательном процессе информационная система управления учебным процессом при подготовке специалистов с высшим образованием.

В любой информационной системе социальных технологий имеется и должна учитываться обратная связь. Не исключение и предлагаемая система. Обратная связь применяется при традиционной организации процесса обучения и, как в нашем случае, с использованием информационных технологий. Например, проведение текущего контроля предназначено для выявления слабоуспевающих, с которыми затем проводится дополнительная работа по «подтягиванию» их до минимально допустимого уровня требований. Суть этой работы заключается в выборочном повторении отдельных элементов, объяснения и закреплении нового материала. Выборка производится по двум параметрам: по участникам и элементам процесса обучения. Формируемый рейтинг рассматривается как обратная связь. Такая форма организации учебного процесса способствует усилению эффекта обратной связи и выступает в качестве мотивирующей образовательной среды.

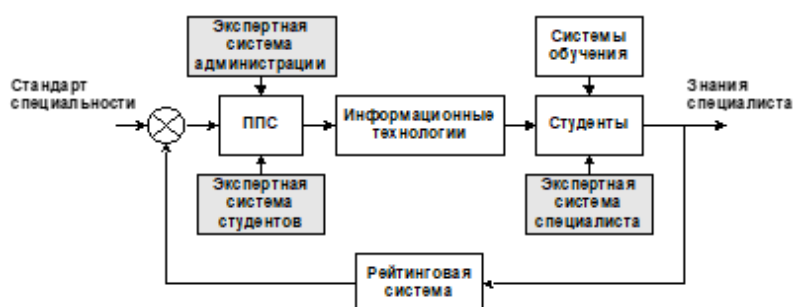


Рисунок 1 – Функциональное представление организации современных образовательных технологий подготовки кадров

Современные информационные образовательные технологии могут быть использованы в обучении студентов несколькими способами. В самом простом случае реальный учебный процесс идет по обычным технологиям, а информационные технологии применяются лишь для промежуточного контроля знаний студентов в виде

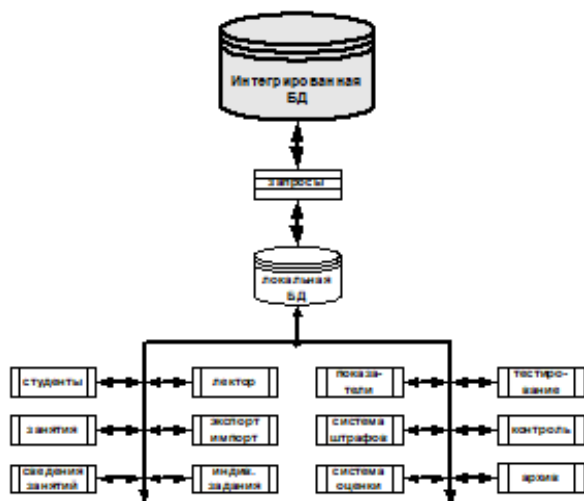
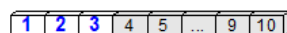


Рисунок 2 – Структура информационной системы

тема управления учебным процессом». В рамках проекта разработаны модели, архитектура и построены подсистемы.

В подсистемах программное обеспечение и данные реализованы в виде блоков (объектов). Каждый из блоков представляет собой информационную подсистему второго уровня (0-й уровень – корпоративная/серверная часть; 1-й уровень – локальные подсистемы. Создаются обычно с учетом функционального признака; 2-й уровень – подсистема (блок, объект), реализующая конкретную функцию связанную с обслуживанием учебного процесса).

Для более точного определения качества подготовки специалиста по конкретной дисциплине используется не единственная оценка в диапазоне 0-10, а интегрированный показатель. Он содержит три составляющие:



- 1- посещение занятий
1 балл - присутствие
0 - пропуск
- 2- дополнительные баллы
0 - 999 баллов
- 3- оценка за занятие
0 - 10 баллов
- 4 - ...

Рисунок 3 – Структура данных оценки качества подготовки специалиста

В работающем приложении реализованы только три показателя, но для любителей использовать большее количество критериев оценки деятельности студента программных ограничений нет.

Рейтинговая технология обучения обладает рядом преимуществ по сравнению с другими технологиями и традиционными формами организации учебного процесса и главное – может быть легко адаптирована для оценки компетенций при подготовке специалистов.

ОРГАНИЗАЦИЯ КОМАНДНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ НАД ПРОЕКТОМ НА ОСНОВЕ ГИБКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ AGILE

В докладе предоставлен опыт организации командной работы студентов первого курса над проектом на основе гибких методов управления проектами Agile с целью приобретения практических навыков анализа, проектирования, тестирования, документирования и разработки небольших программных комплексов.

Дисциплина «Основы программной инженерии» является базовой для студентов специальности 1-40 01 01 «Программное обеспечение информационных технологий». Целью курса является ознакомление с принципами организации и создания надежного, качественного программного обеспечения (ПО), удовлетворяющего предъявляемым к нему требованиям.

Основными задачами освоения дисциплины являются:

- рассмотрение технологических основ процесса разработки программного обеспечения;
- приобретение навыков анализа, проектирования, тестирования, документирования и разработки небольших программных комплексов;
- освоение инструментальных средств разработки;
- получение практического опыта работы в команде.

Заключительная лабораторная работа курса, длительностью 6 часов, является итоговой, и выполняя ее, студенты участвуют в командной работе над собственным проектом. Цель работы:

- изучить жизненный цикл разработки программного обеспечения;
- изучить методологии проектирования программных продуктов;
- рассмотреть технологии быстрой разработки программного обеспечения;
- выполнить проектирование и разработку отдельных элементов системы;
- изучить возможности использования унифицированного языка моделирования при проектировании программных систем;
- построить диаграмму вариантов использования;
- выполнить тестирование;
- внедрение и сопровождение программных продуктов;

– получить навыки совместной работы в команде.

Группа студентов делится на небольшие команды, состоящие из 5–6 студентов, для разработки собственного проекта.

Назначение, цель, имя проекта, описание, входные/выходные данные, модули, входящие в состав проекта (возможен выбор из предлагаемого в задании списка задач различной сложности), используемые инструменты управления проектами определяются командой.

Начальные требования к проекту предоставляются в виде списка задач (backlog), из которого студенты составляют sprint backlog.

В качестве методологии процесса разработки ПО студентам было предложено проанализировать различные методологии проектирования ПО, рассмотренные в лекционном курсе, и выбрать подходящие модели для работы над проектом. Рекомендовано использовать Agile – гибкий итеративно-инкрементальный подход к управлению проектами и продуктами, ориентированный на динамическое формирование требований и обеспечение их реализации небольшой группой разработчиков. Согласно данному подходу, весь проект разбивается на несколько небольших подпроектов, из которых затем формируется готовый продукт.

Таким образом, инициация и верхнеуровневое планирование проводятся для всего проекта, а этапы разработка, тестирование и прочие проводятся для каждого модуля отдельно. Это обеспечило успешное выполнение проекта каждой командой независимо от уровня подготовки участников команды.

Студенты проанализировали различные методологии и выбрали подходящие модели работы над проектом, управления командой, определили инструментарий для взаимодействия участников команды на протяжении всего жизненного цикла проекта.

Из множества методов, базирующихся на идеях Agile, использовались Scrum, Kanban и даже методология XP.

Вне зависимости от применяемой методологии первым этапом разработки является формулировка требований к продукту.

Набор требований к продукту представляет собой техническое задание, при этом требования делятся на функциональные (что система позволяет сделать, желаемая функциональность, с точки зрения её поведения и информации, которыми она будет управлять) и нефункциональные (требования к оборудованию, операционной системе и т. п.).

Для формализации функциональных требований команды строят UML-диаграммы вариантов использования, которые являются ос-

новой для пользовательской документации, а также используются для написания тестов.

В ходе разработки проекта команды проводили встречи, в ходе которых обсуждались ближайшие задачи, требующие выполнения, и дальнейшее развитие проекта, новые идеи и предложения.

Студентами применялись следующие способы организации совместной работы над проектом:

- удаленный репозиторий в Github;
- канбан-доска (добавление задачи, назначение исполнителей, изменение статуса задачи, проведение тестирования);
- средство Issues в GitHub для организации обсуждения, назначение проблем и задач членам команды.

Роли и задачи распределились между членами команды самостоятельно, в порядке обсуждения, кроме того участниками проекта были согласованы правила совместной работы с удаленным репозиторием.

Разработка проекта проводилась в IDE Visual Studio с использованием системы контроля версий.

Процесс тестирования включил в себя составление плана тестирования, набора тестовых случаев, выполнение тестирования каждого модуля и проекта в целом. Тестовый случай содержит описание тестовых сценариев. Каждый такой случай привязывается к соответствующему Use Case.

Лидер команды представляет готовую версию проекта. Члены команды анализируют полученный результат и принимают решение о продолжении или завершении работы над проектом. При необходимости выполняется планирование следующего спринта.

В соответствии с заданием документация на проект может содержать следующие типы документов: техническое задание, частное техническое задание на модуль/задачу, сценарий использования (Use Case), сценарий тестирования (Test Case), отчет об ошибке (Bug Report), руководство пользователя.

Основные вопросы управления командой проекта (ролевая модель команды, общение в команде) решались студентами самостоятельно.

Пример студенческого проекта BSTUdent.

Общение, разработка, обмен файлами и разработка были организованы с помощью системы контроля версий Git и GitHub. Был создан репозиторий с названием BSTUdent Hub, содержащий 6 веток: main, styles, INFO, timetable, game, binary-code. В репозиторий были добавлены контрибьютеры – члены команды, каждый член команды использовал отдельную ветку для разработки.

Проект включает в себя следующие модули: расписание занятий группы, калькулятор двоичных чисел, игра «Змейка», реализованная на C++, Time Table.

В ходе тестирования, в зависимости от результата теста (failed/passed), формировалась задача и карточка с заданием на доработку помещалась в Kanban для устранения проблем, указанных тестировщиком, или переходила на следующую стадию.

В качестве инструмента совместной работы использовался GitHub и следующие его возможности:

- добавление членов команды, настройка прав доступа для членов команды;
- Pull Requests – отправка запроса и слияние;
- Issues – отслеживание ошибок, обсуждение новых идей для реализации, список задач;
- ревью кода – комментарии к строкам и URL-запросы;
- wiki – создание документации на проект.

Была создана доска «Канбан», для размещения карточек с основным планом разработки той, или иной части проекта.

Студентами применялись следующие дополнительные возможности issues Github:

- Labels: выделение цветом категорий для каждого issue (полезны для фильтрации);
- Milestones: вехи, связанные с категориями (для определения того, какие проблемы требуют обработки, и также позволяет автоматически обновлять индикатор выполнения при закрытии связанной с вехой проблемы);
- Search: поиск для issues и milestones;
- Assignment: каждый вопрос может быть назначен ответственному лицу для исправления проблемы;
- автоматическое закрытие проблемы, помеченной как выполненная (Fixes#[issue-number]);
- Mentions: позволяет оставить примечание, указывая #[issue-number], т.к. номера issue являются гиперссылками.

В результате выполнения собственного уникального проекта студенты научились определять цель, ставить задачи, составлять и реализовывать план проекта; получили опыт работы над проектом – первый опыт совместной деятельности в процессе выполнения творческого задания, развили способность к коммуникации.

МЕТОД ИНДЕКСИРОВАНИЯ ТЕКСТОВЫХ ФРАГМЕНТОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СМЫСЛОВОГО ПОИСКА ПО БАЗЕ ДОКУМЕНТОВ

В настоящее время большая часть информации в бизнесе, промышленности, государственных и других учреждениях хранится в текстовой форме в базах данных, и эти текстовые базы данных содержат зачастую слабоструктурированные данные. Любой потенциально важный документ также может содержать некоторые в значительной степени неструктурированные текстовые компоненты. С каждым годом значительно увеличивающееся количество создаваемых цифровых документов и закономерное увеличение объёмов хранимых документов требует новых решений целого ряда задач. Эти задачи возникают в процессе управления данными и стадий, которые проходят данные от сбора и первичной обработки, сохранения и обеспечения доступа к ним, и до последующего использования и обработки с целью извлечения из них информации. Хорошая организация документооборота предполагает оперативный доступ к требуемым документам и организовать их своевременную обработку.

Проблема поиска информации в больших массивах текстовой информации актуальна для всех видов деятельности. Для её решения были разработаны алгоритмы от простейшего поиска по ключу (прямое нахождение слов запроса в документах) до построения моделей документов [1] и последующего сравнения их с моделью запроса. В работе рассматривается решение задачи индексирования документов для организации смыслового поиска по документной базе с ранжированием результатов и сопоставлением документов.

Для решения задачи индексации базы документов известны различные методы, основанные на специальных структурах данных, в числе которых инвертированный индекс, суффиксные деревья, матрица термов в документах и другие. Инвертированный индекс хранит общую информацию обо всей документной базе. Данная структура эффективно применяется для поиска документов, в которых встречается вхождение одно или несколько заданных слов [2]. Но сами документы не содержат сжатых представлений, что делает этот метод не пригодным для решения задачи поиска схожих документов. Суффиксные деревья [3] эффективны для поиска документов, содержащих не только определенное слово, а в принципе любую подстроку (любой

размерности). При этом операция сравнения документов реализуется очень трудоемко и выполняется с большими временными затратами.

Матрица термов в документах [4] для каждого документа содержит информацию о входящих в него термах (словах или словосочетаниях). Основной проблемой такого представления является «разреженность» матрицы. В связи с этим, чаще всего она хранится в структуре подобной инвертированному индексу («прямой индекс»), которая для каждого документа хранит список входящих в него слов и количество вхождений. Такая структура требует меньше памяти. Документ в данном индексе сжимается до списка входящих в него слов и их количества, или до вектора по универсуму терминов документной базы. Такие вектора являются отображением документа в некоторое векторное пространство. Сравнение векторов документов можно оценивать похожесть документов по содержанию слов. Одной из проблем использования «прямого индекса» для организации представления документа заключается в различном распределении отдельных слов в языке. Например, предлоги и многие глагольные формы встречаются в тексте намного чаще, чем более специфичные термы, которые тем не менее лучше отражают смысл текстового документа. Эта проблема решается путем модификации матрицы термов. В ячейку записывается не сам терм, а значение Tf-Idf [4,5] для данного терма в конкретном тексте и даже в наборе текстов. Такая модификация позволяет взвесить компоненты вектора документа так, что менее важные для определения содержания документа термы имеют меньшее значение в векторе, а значит и меньше влияют на результат сравнения текстов.

Следует отметить, что один из главных недостатков рассмотренных подходов к поиску по базе документов заключается в том, что никоим образом не учитывается структура текста. Терм может часто встречаться в тексте и быть «маркером» для некоторого документа, то есть выделять его из всего набора текстов, но при этом вообще не отражать смысл самого документа [6]. В качестве результата операции индексирования должно получаться некоторое представление документа, которое будет отражать его основное содержание. В качестве такого представления документа предлагается использовать вектор по универсуму терминов документной базы. Терминами выступают извлеченные из документов ключевые слова и фразы.

Извлечение ключевых слов предлагается выполнять с помощью метода поиска ключевых слов TextRank [7]. Принцип его работы заключается в построении графа со словами в вершинах и подсчете на его основе для каждого слова числового рейтинга. Он показывает, насколько слово часто встречается в этом тексте в разных контекстах.

Чем больше это число, тем вероятнее, что слово важно для текста и отражает суть его содержания. Основной плюс алгоритма в том, что для извлечения ключевых слов он использует только статистики слов в текущем документе. Это значит, что он не требует хранения никакой дополнительной информации. В качестве результата операции индексирования должно получаться некоторое представление документа, которое будет отражать его основное содержание. В общем весь процесс индексирования в итоге состоит из предобработки текста, извлечения ключевых слов, формирования векторов для документов и последующего построения k-d дерева.

Для процесса ранжирования определен алгоритм вычисления меры схожести текстовых фрагментов. Вектора проиндексированных текстов помещаются в k-мерное дерево, так как данная структура данных обеспечивает быстрый поиск и ранжирование по набору k-мерных векторов. Для задачи ранжирования в качестве меры схожести запроса и документа предлагается использовать метрику Минковского с $p=1$ (расстояние городских кварталов, L1 норма), что соответствует количеству терминов, относящихся только к запросу и только к документу. Таким образом, тексты с меньшим значением расстояния более похожи на запрос по смыслу. При добавлении новых текстов k-мерное дерево разбалансируется. В этой связи, при накоплении определенного количества новых документов, необходимо перестраивать дерево в ходе работы метода. Вопрос частоты балансировки дерева требует дополнительного исследования и будет рассмотрен в дальнейшем.

Был проведен компьютерный эксперимент с предложенным методом, в рамках которого разработано программное средство в виде Python библиотеки. Библиотека включает несколько основных классов, которые являются интерфейсом для её пользователей и реализуют основные этапы рассмотренного метода. Обработка данных внутри библиотеки, включая предобработку текста, разбиение его на токены, построение графа, вычисление весов и прочие операции, реализовано с помощью функций в специальных файлах с открытым доступом для пользователей. В программной реализации использованы внешние Python библиотеки в открытом доступе: `rutmorphy2` (для определения частей речи), `scikit-learn` (для реализации структуры данных k-d дерева), `summa` (отдельные функции PageRank и TextRank), `pymongo` (для работы с сервером документно-ориентированной СУБД MongoDB).

В качестве базы текстов для тестирования был использован дамп базы данных русскоязычной википедии. Статьи википедии вполне соответствуют понятию документа, данному в начале обзора предметной области. Для улучшения качества результатов работы ал-

горитма к тексту применяется предобработка. Во-первых, из текста убирается пунктуация и служебные слова, которые сами по себе не несут смысловой нагрузки (предлоги, местоимения и прочее). Затем применяется алгоритм нахождения устойчивых словосочетаний, который основывается на подсчёте частоты появления слов в сочетаниях и по отдельности. В результате часть слов объединяются в один токен для работы с ними как с одним термином (словосочетания).

Было проведено дополнительное нагрузочное тестирование для анализа производительности процессов индексации и поиска. На основании результатов экспериментов можно сделать заключение, что подход на основе метода TextRank обеспечивает хорошее качество индексирования документной базы и быстрый поиск с ранжированием по ней. При этом для начала работы не требуется предварительно научения и дополнительных наборов доменно-специфичных текстов, что делает качество работы независимым от предметной области и языка, а также от количества хранимых в базе текстов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Парамонов А.И. Представление знаний гибридной моделью для систем интеллектуального поиска / Вестник Донецкого национального университета – 2005. – Серия А, №1. – С. 404-409.
2. Stefan Büttcher, Charles L. A. Clarke, Gordon V. Cormack Information Retrieval: Implementing and Evaluating Search Engines / The MIT Press, 2010, 630pp, ISBN 978-0-262-02651-2.
3. Grossi R., Vitter J.S. Compressed suffix arrays and suffix trees with applications to text indexing and string matching, Proceedings on 32nd Annual ACM Symposium on Theory of Computing (STOC 2000), 2000 ACM (pg. 397-406)
4. Eduardo Muñoz, Getting started with NLP: Tokenization, Document-Term Matrix, TF-IDF [Электронный ресурс]. – Aug 3, 2020. Mode of access: <https://medium.com/analytics-vidhya/getting-started-with-nlp-tokenization-document-term-matrix-tf-idf-2ea7d01f1942> (last access: 31.01.2022)
5. J. Ramos. Using TF-IDF to Determine Word Relevance in Document Queries. Technical report, Department of Computer Science, Rutgers University, 2003.
6. J. Beall, The weaknesses of full-text searching, Journal of Academic Librarianship, vol. 34, pp. 438-444, 2008.
7. R. Mihalcea and P. Tarau. TextRank: Bringing Order into Texts // Proc. of the 9th Conf. on Empirical Methods in Natural Language Processing. – 2004. – С. 404–411

ОРГАНИЗАЦИЯ КОМАНДНОЙ РАБОТЫ NFT МАРКЕТПЛЕЙС, ПОКУПКА, КОЛЛЕКЦИОНИРОВАНИЕ И ПЕРЕПРОДАЖА NFT ЧЕРЕЗ МАРКЕТПЛЕЙС OPENSEA

Невзаимозаменяемый токен (NFT), также уникальный токен – вид криптографических токенов, каждый экземпляр которых уникален (специфичен) и не может быть обменян или замещён другим аналогичным токеном, хотя обычно токены взаимозаменяемы по своей природе.

Невзаимозаменяемый токен представляет собой криптографический сертификат цифрового объекта с возможностью передавать сертификат через механизм, применяемый в криптовалютах. Сам по себе токен не является подтверждением права на владение цифровым активом в контексте законодательства об авторском праве. NFT не препятствует копированию объекта, он только закрепляет за владельцем «цифровую фишку», созданную на основе одного из экземпляров цифрового артефакта. Также нет препятствий для формирования нескольких разных токенов для одного и того же файла. Но если участники соглашаются, что NFT может формировать только реальный владелец и дальнейшая передача NFT происходит только в связи с передачей соответствующих прав на исходный цифровой объект, тогда NFT может выполнять роль маркера, указывающего текущего владельца объекта.

Невзаимозаменяемые токены используются на нескольких платформах для подтверждения факта владения цифровыми активами и права их использования. Чаще всего речь идёт о цифровых предметах, таких как экземпляры произведений компьютерного искусства, коллекционные цифровые предметы, онлайн-игры.

Технология невзаимозаменяемых токенов не подразумевает проверки авторских прав при создании токена, поэтому участились случаи, когда авторы рисунков обнаруживают, что их работы использовались посторонними лицами для выпуска токенов без их ведома и разрешения. Площадки для торговли невзаимозаменяемыми токенами заявляют о борьбе с воровством цифровых активов, но не могут решить проблему полностью.

OpenSea – площадка для торговли NFT. Платформа OpenSea позволяет продавать, покупать и создавать собственные NFT-токены. Платформа работает по принципам децентрализованного сообщества: криптовалютные кошельки, адреса и активы контролируются самими

пользователями. Протокол маркетплейса поддерживает блокчейн Ethereum.

Протокол OpenSea NFT использует токены стандарта ERC721 и ERC1155 (для коллекций). ERC-721 был первым стандартом для невзаимозаменяемых цифровых активов. Это унаследованный стандарт смарт-контрактов Solidity. Его пользователи могут создавать новые совместимые с ERC-721 контракты, импортируя их из библиотеки OpenZeppelin. ERC-1155 привнес в мир NFT идею полузаменяемости, а также предоставляет расширенный набор функций для ERC-721, что означает, что актив ERC-721 может быть построен с использованием ERC-1155. Оплачивать покупки можно любыми токенами ERC20. Купить NFT по банковской карте можно через сервис MoonPay. Особенность – широкий выбор категорий. Популярные категории: искусство, спорт, коллекционные карточки и проекты от известных артистов. Также на площадке можно купить NFT в виде аудио, доменного имени или 3D-объекта. Для работы с платформой не нужно проходить верификацию, достаточно подключить к сайту кошелек. Доступны кошельки MetaMask, Coinbase Wallet, Portis, а также мобильные версии кошельков Trust и OperaTouch.

В OpenSea есть два вида ценообразования: аукцион (Highest Bid) и покупка по прямой стоимости (Set Price). Любой пользователь может сделать ставку или купить NFT по самой высокой цене.

OpenSea NFT – один из первых маркетплейсов на рынке. Это надежный децентрализованный сервис с большим выбором токенов. В будущем разработчики будут добавлять к протоколу больше блокчейн-сетей для сохранения конкурентоспособности платформы, в том числе с NFT-маркетплейсом Binance.

Многие пользователи по ошибке ставят знак равенства между NFT и цифровым объектом. Но на самом деле NFT представляет собой цифровой сертификат, обозначающий ваши права на изображение, анимацию, музыку или любой другой объект. При этом такой сертификат далеко не всегда означает переход к вам исключительных прав на контент. К примеру, с помощью NFT-токена можно передать вам право слушать какие-то треки, посетить определенное мероприятие. При этом никакого права собственности на сам объект вы не получите. Есть и обратные ситуации, когда NFT удостоверяет именно факт покупки исключительных прав на объект. Причем в последнее время все чаще встречаются ситуации, когда с помощью NFT продаются не только цифровые активы, но и вполне осязаемые вещи и даже интеллектуальная собственность на всевозможные ноу-хау.

МЕТОДЫ ОПИСАТЕЛЬНОЙ СТАТИСТИКИ

Для чего нам нужна статистика? Если говорить об ИТ сфере, то статистика используется на многих этапах разработки ПО, от планирования до реализации ключевого функционала. Активно используется в тестировании, например, для предсказания модулей с потенциально наибольшим количеством ошибок, А/Б тестирования и т. д. В основе машинного обучения, которое является одним из наиболее перспективных направлений ИТ сферы, также лежит статистика.

Статистика – это набор математических методов и инструментов, позволяющих анализировать и структурировать данные, для их наглядного представления, в частности, и для получения возможности их рационального использования в целом. Она делится на две категории:

1. Описательная статистика. Предлагает методы резюмирования данных путем преобразования необработанных наблюдений в значимую информацию, которую легко интерпретировать и распространять.

2. Логическая статистика. Предлагает методы изучения экспериментов, выполненных на маленьких образцах данных, и умозаключения для всего набора информации.

Другими словами, чтобы преобразовать полученную информацию в имеющие смысл идеи, применяется описательная статистика. Затем применяется логическая статистика, чтобы, изучив полученные выборки данных, дать вывод с проведением параллели на всю совокупность данных.

Перейдем к описательной статистике. Как уже было сказано, хоть и немного другими словами, это методы описания выборок, исследуемых по количественному признаку x , с помощью их различных числовых характеристик.

Преимущество данных методов заключается в следующем. Несколько простых и достаточно информативных статистических показателей, если они известны, во-первых, избавляют нас от просмотра сотен, а порой и тысяч значений данных, а во-вторых, позволяют получить более или менее точную оценку характеристик распределения признака в генеральной совокупности.

Описывающие выборку показатели разбиваются на несколько групп; в своем большинстве они имеют аналоги в виде числовых характеристик случайных величин в теории вероятностей.

Показатели положения описывают положение вариантов выборки на числовой оси. Сюда относят:

а) минимальную и максимальную варианту (значение);

б) выборочное среднее арифметическое значение (выборочное среднее), выборочные моду и медиану. Данные значения указывают на «центральную» точку распределения выборки – наиболее значимую для нас варианту в поставленной задаче.

Выборочное среднее x_v является той точкой, сумма отклонений значений x от которой равна нулю. По сути, это просто среднее арифметическое. Это единственная точка, которая обладает данным свойством, оно выделяет ее среди всех других.

Выборочная мода Mo_v – варианта, которая чаще всего встречается в исследуемой выборке, т. е. имеет наибольшую частоту. Если выборочное распределение имеет несколько мод, то говорят, что оно мультимодально. Следует помнить, что при мультимодальном распределении моды не должны иметь строго одинаковые значения. Если выборка имеет несколько показателей, которые явно выбиваются из общей статистики, но при этом имеют разные значения, они все еще являются модами.

Выборочная медиана Me_v – варианта, которая делит упорядоченный статистический ряд на две равные части по числу попадающих в них вариант.

Рассмотрим пример, допустим у нас есть упорядоченная выборка значений 1,3,4,4,4,6,6. Выборочное среднее будет иметь значение $(1+3+4+4+4+6+6)/7=4$. Выборочная мода также будет равна четырем, поскольку это наиболее часто встречающееся значение. Медианным значением, в нашем случае, будет являться четвертый элемент выборки, поскольку он является разделителем упорядоченного ряда. В случае, если ряд состоит из четного числа значений, медианное считается как среднее арифметическое между значениями, стоящими посередине, пример: в ряде 12,15,17,17, медианным значением будет $(15 + 17) / 2 = 16$.

Показатели разброса описывают степень разброса данных относительно своего центра. Здесь обычно используются:

а) стандартное отклонение S и выборочная дисперсия $D_v = S^2$, характеризующие рассеяние вариантов вокруг их среднего выборочного значения x_v и являются самыми распространенными механизмами для измерения и описания разброса величин. Именно эти параметры часто используются как меры изменчивости некоторого исследуемого показателя (случайной величины X). Чем больше D_v и S , тем сильнее разбросаны значения x относительно среднего. Дисперсия

вычисляется путем определения, насколько далеко от среднего значения расположены наблюдения в рамках одного и того же набора данных. Однако вычисление дисперсии идет следующим образом: разница между значением каждого варианта и средним возводится в квадрат, после чего сумма всех таких значений делится на количество этих вариантов. Среднеквадратичное отклонение – корень из значения дисперсии. Суть его в том, что если мы отклонимся на это значение влево или вправо на графике значений, мы получим интервал, на котором будут сконцентрированы наиболее вероятные значения выборки; Также стоит отметить, что дисперсия служит исключительно для нахождения стандартного отклонения в описательной статистике.

Рассмотрим на той же упорядоченной выборке. Дисперсия будет считаться следующим образом: $Dv = ((1-4)^2 + (3-4)^2 + (4-4)^2 + (4-4)^2 + (4-4)^2 + (6-4)^2 + (6-4)^2) / 7 = (9 + 1 + 0 + 0 + 0 + 4 + 4) / 7 = 18 / 7 = 2,57$.

Стандартное отклонение соответственно считается как корень из 2,57 и равен 1,6.

б) размах выборки – разность между максимальной и минимальной вариантами: $X_{\max} - X_{\min}$;

в) коэффициент вариации $v = S / x_v \cdot 100\%$. Это отношение стандартного отклонения к средней арифметической для выборки, которое выражено в процентах. Дает понятие, насколько на самом деле велик разброс в данных, независимо от масштаба измерений. Однако, данный показатель не годится для данных, измеренных по интервальной шкале, вроде температуры, времени и т.д.

Так же можно отметить выборочный эксцесс (E_{x_v}), который показывает, насколько большая разница между пиковым значением и минимальным, другими словами, он показывает, насколько полученный график будет сглаженным, и выборочную асимметрию As_v , которая характеризует меру скошенности упорядоченного графика выборки влево или вправо относительно наивысшего значения. Соответственно выделяют правостороннюю, где график справа будет больше вариант чем слева, и левостороннюю, где слева вариант больше, чем справа.

Для определения распределения исследуемой величины, которое нужно знать для проведения последующего анализа, можно использовать гистограммы, графики, полигоны частот и другие способы визуализации информации.

О законе распределения также можно судить по выборочным числовым характеристикам случайной величины.

Большинство методов статистического анализа данных разработано для случайных величин, распределенных по нормальному зако-

ну. Распределение исследуемой величины в генеральной совокупности можно рассматривать как близкое к нормальному, если:

1. Выборочные x_v , Me_v , Mo_v равны или незначительно отличаются друг от друга.

2. Минимальное и максимальное значения x (x_{\max} и x_{\min}) примерно равноудалены от x_v .

3. Выборочные Ex_v и As_v близки к нулю.

Подводя итоги, описательная статистика, да и статистика в целом, это, местами, несложная, но весьма хорошая отрасль для работы с данными, способная в умелых руках и при правильном применении облегчить процесс разработки путем упрощения понимания и работы с информацией за счет ее структурирования и облегченного для понимания представления. Ни один крупный проект, на данный момент, не обходится без участия специалиста по данным. И, хотя они не участвуют напрямую в процессе кодирования программного продукта, тем не менее, навыки обработки данных, в том числе статистическими методами, никак нельзя недооценивать.

ЛИТЕРАТУРА

1 Charles Wheelan. Naked Statistics / W. W. Norton & Company; First Edition 2013. С. 35-59.

2 Питер Брюс, Эндрю Брюс. Практическая статистика для специалистов Data Science: Пер. с англ. / П. Брюс, Э. Брюс. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. С. 26-45.

УДК 004:371. 301.5:378.663

Н.И. Потапенко, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

МОРФИЗМ В ВЕБ-ДИЗАЙНЕ

Относительно короткий срок становления и развития веб-дизайна отмечается постоянными изменениями в проектировании и дизайне. Постоянное развитие цифровых технологий затрагивает как техническую составляющую, так и оформительскую в сфере производства веб-изданий. Изменяются способы и формы подачи контента, инструменты взаимодействия с пользователем. Мобильные технологии вносят свои поправки в представления о том, каким должен быть сайт или мобильное приложение.

Веб-дизайн как направление в искусстве не живет своей отдельной жизнью. Веб-сайт – отражение нашей реальности через призму восприятия веб-дизайнера, заказчиков, потребителей, общих тенденций во всех сферах нашей жизни.

Рассмотрим становление и развитие такого стиля в веб-дизайне как скевоморфизм.

В основе скевоморфизма лежит реалистичное изображение объектов реального мира в цифровой среде. Достигается это за счет использования света, тени, бликов и текстур. В математике, в теории категорий, морфизм - это сохраняющая структура карта из одной математической структуры в другую того же типа. Этот принцип нашел свое отражение в цифровой среде – максимально сохранить форму. В веб-дизайне это нашло свое воплощение в объяснении новой функции с помощью понятной всем аналогии или метафоры.

Скевоморфизм возник в ответ на поддержку графического интерфейса браузеров в начале двухтысячных годов. Компьютеры в это время еще редкость, поэтому для лучшего понимания интерфейса его создавали по подобию реального: внешний вид кнопок и иконок на экране отражал внешний вид привычных предметов. В этом заключался ряд преимуществ перед текстовыми интерфейсами:

- понятен для большинства новых пользователей из-за реалистичности изображений;
- привлекал новых пользователей из-за эстетичности и привлекательности дизайна;
- так как использовались в основном большие мониторы, то мелкие детали, текстуры, блики и тени хорошо просматривались.

С развитием технологий и опыта пользователей объёмные изображения исчезают из интерфейсов. Веб-дизайн повернулся в сторону упрощения:

- изменился опыт пользователя, ему достаточно упрощенных схематичных изображений;
- изменились цели пользователей- сайты и приложения помогают решать насущные задачи. Становится важным не красота, а простота интерфейса и скорость работы;
- изменились устройства в сторону уменьшения рабочей поверхности экрана (мобильные телефоны, планшеты). Объёмные изображения хороши на большом экране, но в мобильной версии они превращаются в расплывчатую рябь: для маленького масштаба нужна лаконичность.

Перечислим отличительные свойства скевоморфизма.

Реалистичность интерфейса цифрового продукта обеспечивает идеальный пользовательский опыт.

Эффект глубины, используемый для выделения ключевых элементов интерфейса, мотивирует на активные действия. Подобный эф-

эффект создается за счет грамотного использования теней. Комбинирование между собой теней позволяет получать сложные эффекты. Блики помогают сфокусировать внимание на важных объектах. С помощью бликов можно выделить главную кнопку или показать, что сейчас она в неактивном состоянии. Анимированный блик, перемещаясь вокруг выделенной области создает дополнительный акцент. Блики заставляют пользователей внимательно присматриваться к объектам. Они незначительно влияют на общий механизм использования цифрового продукта, но визуальный образ складывается из разных элементов.

Текстуры из реального мира хорошо работают и привлекают внимание, создают эффект взаимодействия в цифровой среде.

Свет как важный атрибут и часто используется для визуальной композиции. Если свет падает сверху, он выделяет верхнюю область и создаёт тень около нижней. За счёт этого создаётся яркий контраст – низ становится тёмным, а верх светлым. С помощью света можно показать разные состояния объекта. Пересечение реального мира с виртуальным убирает границы и делает погружение в новые продукты естественным. Пользователь не задумывается, куда нажимать и управление осуществляется на интуитивном уровне. Примеры кнопок в стиле скевоморфизм представлены на рис. 1.



Менеджер для документов, банковских карт, паролей и личных данных



Текстовый редактор «Pages»



Приложение «Купи батон»



Менеджер кулинарных рецептов «Paprika Recipe Manager»

Рисунок 1 – Примеры кнопок в стиле скевоморфизм от Apple

Скевоморфизм повлиял на последующие графические решения, с которыми пользователи сегодня взаимодействуют. Одно из направлений, возникшее 2019 году – это неоморфизм. В основе лежат объёмные фигуры без чётких контуров: очертания создаются благодаря мягким теням.

Такие интерфейсы привлекательны, но не быстры в загрузке, и недостаточно контрастны, чтобы пользователю было достаточно беглого взгляда на экран (рис. 2 – работа студ. 3 курса Чекан Е.С.).

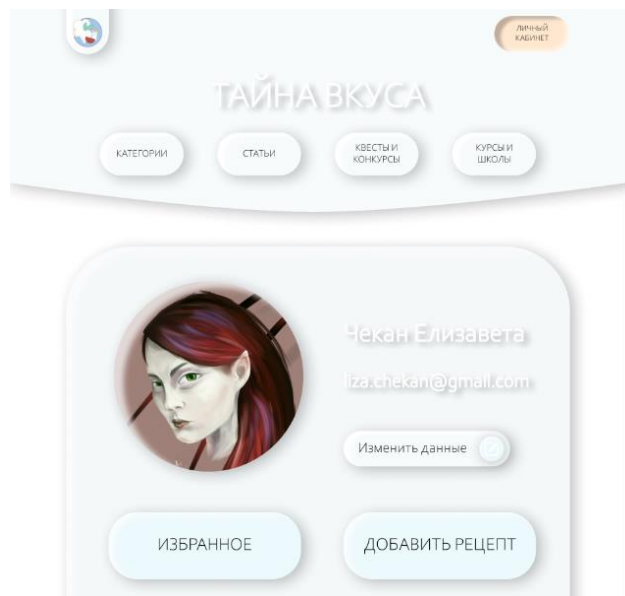


Рисунок 2 – Пример неоморфизма

Неоморфизм – стиль, в котором каждый элемент «выдавлен» из фона, как на устройствах с резиновыми кнопками. Однако проблема неоморфизма состоит в контрасте между элементами интерфейса. Проблемы возникают у людей с плохим зрением, и у владельцев устройств с плохими экранами. Наиболее востребован неоморфизм в реализации карточек и слайдеров.

Глассморфизм – интерфейс, элементы которого напоминают прозрачное стекло (рис. 3, работа студ. 3 курса Барановской М.). В чистом виде глассморфизм, как и неоморфизм, использовать очень сложно из-за низкой контрастности между элементами интерфейса. Еще одно порождение скевоморфизма – это сквирклморфизм. В основе лежит суперэллипс, который называют «круглым квадратом» или «четырёхугольным колесом». Он отличается от привычных всем прямоугольников со скошенными углами. Основное отличие – скашиваются у него не только углы, но и стороны:

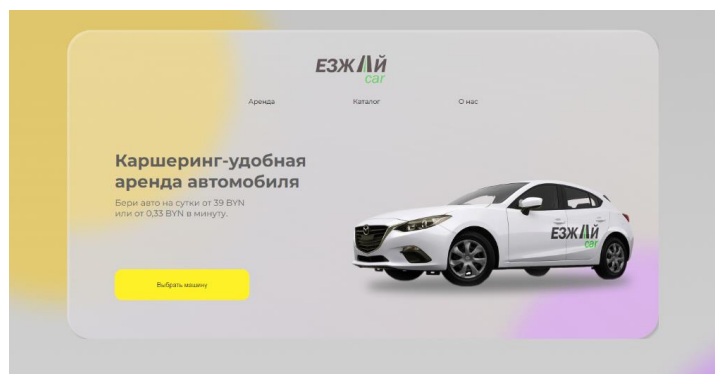


Рисунок 3 – Пример страницы сервиса каршеринга в глассморфизме

Стиль заключается только в использовании формы суперэллипса. Он может быть связан с неоморфными или глассморфными элементами (рис. 4).



Рисунок 4 – Пример сквиркла. Красная фигура – сквиркл. Синяя под красной – прямоугольник со скошенными углами. Изображение: Skillbox

Рассматривая современные цифровые интерфейсы, можно заметить, что многие стили в той или иной степени полагаются на двумерное представление физических компонентов. В данной статье мы рассмотрели такое явление как скевоморфизм и его развитие в виде неоморфизма, глассморфизма и пр. На лабораторных занятиях по дисциплине «Дизайн электронных и веб-изданий» студенты в полной мере отрабатывают навыки по разработке веб-проектов в различных стилях, что в конечном итоге формирует у студентов профессиональный базис веб-дизайнера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сырых Ю.А. Современный веб-дизайн. Настольный и мобильный. 4-е изд.- М.: Вильямс, 2018. – 384с.
2. Электронный журнал UXРUB, [Электронное издание], режим доступа: <https://ux.pub/articles/>
3. Блог агентства Digital IDBI[Электронное издание], режим доступа: <https://idbi.ru/page/aboutus>

ЭРГОНОМИКА ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ

Информатизация всех сфер общественной жизни, экономики, производства привела к понятию цифровой среды. Цифровая среда понимается как совокупность информационных ресурсов, созданных субъектами информационной сферы, средств взаимодействия таких субъектов, их информационных систем и необходимой информационной инфраструктуры.

Информационная среда существует столько же, сколько существует человечество. Менялись средства коммуникации, способы хранения и предоставления информации, уровень ее доступности. Цифровое пространство представляет собой метафору, характеризующую пространство распространения сигналов в любых управляющих системах. Очевидно, что цифровая среда (пространство) получила принципиально новое качество с появлением Интернета, базирующегося на информационных технологиях и компьютерной технике.

Основу цифровой среды составляют компьютерные технологии, базисом которых являются дискретные сигналы. Особенности цифровой среды:

– инфраструктура, которая состоит из телекоммуникационных линий; вычислительных комплексов различной масштабности – от суперкомпьютеров до смартфонов; вычислительных управляющих встроенных блоков в различного вида объектов физического мира, от производственных линий до предметов одежды;

– структура, состоящая из сетевых программных протоколов, обеспечивающих передачу информации по различным сетям, программ и программных платформ, осуществляющих хранение, переработку и предоставление информации, программных интерфейсов, обеспечивающих понимание информации пользователями;

– ультраструктура, включающая в себя общедоступные, приватные, платные сетевые интернет-ресурсы.

Цифровая среда Интернет построена на своих правилах и особенностях формирования контента. Выделяют следующие сегменты Интернет:

– web 1.0. Это наиболее сложившийся сегмент. Он включает в себя правительственные, корпоративные, общественные, персональные порталы, сайты, блоги, онлайн-СМИ. Ресурсы этого сегмента доступны для поисковых систем типа Google, Yandex и проч.;

– web 2.0. Это социальный веб, или веб социальных сетей и платформ. Контент в этом сегменте Интернета создается в основном самими пользователями. Из-за требований приватности они лишь частично видимы для поисковых систем.

– web 3.0. Это веб мобильных приложений. Интерфейсы приложений размещаются на экранах планшетных компьютеров, смартфонов. Соответственно, пользователи работают с приложениями без обращения к поисковым системам, просто устанавливая связь между своим устройством и Интернетом;

– невидимый Интернет. Это ресурсы, которые не обнаруживаются поисковыми машинами, а также порталы, сайты и т. д., доступ к которым предполагает либо платный характер, либо наличие специального разрешения на использование ресурсов. По имеющимся данным, в невидимом Интернете находится около 90% всего ценного научно-технического, технологического, финансово-экономического и государственного открытого контента. Объемы невидимого Интернета постоянно растут. Он развивается более быстрыми темпами, чем web 1.0 и web 2.0. Главными причинами опережающих темпов являются, с одной стороны, стремление к архивации всех доступных данных корпоративными пользователями, а с другой – желание владельцев ресурсов вывести их из общедоступного пользования в платный сегмент, т. е. монетизировать;

– «Интернет вещей». Представляет собой соединенные через Интернет с управляющими центрами встроенные информационные блоки самых различных объектов физического мира, в том числе производственной, социальной, коммунальной инфраструктуры. Например, к нему относятся подсоединенные к Всемирной сети технологические линии, системы управления водой, теплоснабжением и т. п. В последние годы быстрыми темпами растет подключение к Интернету всех типов домашнего оборудования.;

– бодинет. С быстрым развитием микроэлектроники появилась возможность встраивать элементы, передающие информацию, в предметы гардероба (кроссовки, майки и т. п.), а также широко использовать микроэлектронику в новом поколении медицинской техники, реализующей различного рода имплантаты – от чипов, контролирующих сахар в крови, до искусственного сердца и т. п. Кроме того, новой тенденцией стало создание распределенного компьютера, который предполагает, что отдельные его элементы распределяются по человеческому телу: фактически человек носит на себе компьютер и взаимодействует с ним круглые сутки .

Для каждого компонента цифровой среды формируются эргономические параметры, которые оказывают существенное влияние на комфорт взаимодействия с тем или иным компонентом.

Информационная модель – это организованное в соответствии с определённой системой правил отображение состояния предмета труда, технической системы, внешней среды и способов воздействия на них.

Информационная модель реализуется в цифровой среде в виде средств отображения информации – индикаторов, кнопок, сигналов, элементов виртуальной\дополненной реальности и т.п. и должна обеспечить пользователю:

- понимание отображаемой информации;
- выделение сложных отношений в ситуации;
- эффективное информационное взаимодействие человека и технических устройств;
- максимальную надёжность деятельности человека и системы управления;
- возможность легко и свободно менять способы действия, гибкость поведения человека и взаимозаменяемость наблюдателей;
- условия координации действий, если системой управляет не один человек, а коллектив.

Эффективная эргономика заключается в оптимальном сочетании возможностей компьютера и человека. Немаловажным фактором создания комфортной эргономичной цифровой среды является отрасль цифрового веб-дизайна. Веб-дизайн – разработка дизайна интерфейсов сайтов, мобильных приложений, видео-игр и любых других цифровых продуктов, включая проектирование структуры и опыта, который получает пользователь при взаимодействии с сайтом или приложением.

Сочетание эргономики и веб-дизайна получило название эргодизайн для обозначения сферы деятельности, возникшей на стыке эргономики и дизайна. Эргодизайн объединяет в единое целое научные эргономические исследования «человеческого фактора» с проектными дизайнерскими разработками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эргономика: уч.пособие/ сост. А.И.Фех; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014 – 118 с.
2. Эмоциональный веб-дизайн / Итан Маркотт. – М.: изд-во МИФ, 2021. – 308 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАССИВНЫХ ПОМЕХ В ВИДЕ ОТРАЖЕНИЙ ОТ ОБЛАКОВ ДИПОЛЬНЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ

Среди искусственных маскирующих пассивных помех наибольшее распространение получили помехи, создаваемые дипольными противорадиолокационными отражателями. Как правило, они представляют собой полуволновые вибраторы из металлизированных бумажных лент, фольги, стеклянного и синтетического (капронового, нейлонового) волокна [1].

Дипольные отражатели обычно комплектуются в пачки. Раскрываясь после выбрасывания с летательного аппарата, такая пачка создает облако дипольных отражателей (ОДО), отраженный сигнал от которого наблюдается на экране индикатора в виде яркого пятна [2].

Рассмотрим модель сигнала пассивной помехи, обусловленной отражением зондирующего сигнала РЛС от облака дипольных отражателей, формируемого в пространстве после выброса пачки отражателей летательным аппаратом – постановщиком помех.

Будем полагать, что в момент сбрасывания форму облака дипольных отражателей можно представить в виде эллипсоида вращения уравнение которого в собственной системе координат $O_{cl}X_{cl}Y_{cl}Z_{cl}$ имеет вид (здесь cl – **cloud**):

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1,$$

где a, b, c - полуоси эллипсоида соответственно по осям X, Y, Z .

Положение ОДО в СК $O_gX_gY_gZ_g$ будем определять положением радиус – вектора его центра (center)

$$\vec{R}_c^{cl} = \vec{R}_c^{cl}(x_c^{cl}, y_c^{cl}, z_c^{cl})$$

или набором координат

$$R_c^{cl} = (x_c^{cl} \quad y_c^{cl} \quad z_c^{cl})^T$$

Тогда уравнение эллипсоида, имитирующего ОДО в земной СК $O_gX_gY_gZ_g$ будет иметь вид

$$\frac{(x - x_c^{cl})^2}{a^2} + \frac{(y - y_c^{cl})^2}{b^2} + \frac{(z - z_c^{cl})^2}{c^2} = 1.$$

После сбрасывания динамика облака дипольных отражателей определяется такими процессами как:

- перемещение его центра в направлении и со скоростью ветра \vec{V}^w ;

- перемещение его центра в направлении и со скоростью $\vec{V}^{cl}(t)$, обусловленной скоростью постановщика помех в момент сброса пачки отражателей;

- увеличение его размеров (разбухание облака), что обусловлено процессами в атмосфере, связанными с перемещением воздушных масс;

- снижение под действием силы тяжести со скоростью \vec{V}^g .

Положение центра облака дипольных отражателей для любого момента времени в СК $O_g X_g Y_g Z_g$ будет определяться выражением:

$$\vec{R}_c^{cl}(t) = \begin{cases} \vec{R}_{c0}^{cl} + (\vec{V}^w + \vec{V}^g)t + \left(\vec{V}_0^{cl}t + \frac{\vec{a}^{cl}t^2}{2} \right), & \text{при } t \leq t^0, \\ \vec{R}_c^{cl}(t^0) + (\vec{V}^w + \vec{V}^g)t, & \text{при } t > t^0, \end{cases}$$

где

$$\vec{R}_c^{cl}(t^0) = \vec{R}_{c0}^{cl} + (\vec{V}^w + \vec{V}^g)t^0 + \left(\vec{V}_0^{cl}t^0 + \frac{\vec{a}^{cl}(t^0)^2}{2} \right),$$

$$\vec{R}_{c0}^{cl} = \vec{R}_{c0}^{cl}(x_{c0}^{cl}, y_{c0}^{cl}, z_{c0}^{cl}) -$$

радиус-вектор центра облака в момент сбрасывания; t^0 – момент времени, отсчитываемый от момента возникновения облака, когда скорость облака в направлении \vec{V}_0^{cl} становится равной нулю; \vec{a}^{cl} – ускорение (отрицательное) облака в направлении вектора \vec{V}_0^{cl} .

Выражение для скорости центра ОДО для момента времени t будет иметь вид

$$V_c^{cl}(t) = \begin{cases} \vec{V}^w + \vec{V}^g + \vec{V}^{cl} = \vec{V}^w + \vec{V}^g + (\vec{V}_0^{cl} + \vec{a}^{cl}t), & \text{при } t \leq t^0, \\ \vec{V}^w + \vec{V}^g, & \text{при } t > t^0, \end{cases}$$

где \vec{V}_0^{cl} – начальная скорость облака.

Пусть сигнал, излученный антенной РЛС в направлении ОДО, имеет вид [3]

$$\begin{aligned} s(t) &= A_0 U(t) g_f(\Delta\theta_\beta, \Delta\theta_\varepsilon) e^{j(\omega_0 t + \varphi_0)} = U(t) \sqrt{P_0} g_f(\Delta\theta_\beta, \Delta\theta_\varepsilon) e^{j(\omega_0 t + \varphi_0)} = \\ &= U(t) g_f(\Delta\theta_\beta, \Delta\theta_\varepsilon) s_0(t), \end{aligned}$$

где $A_0 = \sqrt{P_0} = const$, $\omega_0 = 2\pi f_0$ и φ_0 соответственно амплитуда, частота и начальная фаза излучаемого сигнала, P_0 – мощность радиопередатющего устройства РЛС, $g_f(\theta_\beta, \theta_\varepsilon)$ – функция, описывающая ДНА БРЛС, $\Delta\theta_\beta, \Delta\theta_\varepsilon$ – рассогласование по углу между направлением

максимума ДНА РЛС и направлением на центр ОДО соответственно в азимутальной и угломестной плоскостях,

$$s_0(t) = \sqrt{P_0} e^{i(\omega_0 t + \varphi_0)},$$

$U(t)$ – закон модуляции зондирующих импульсов [3].

Для принятой модели ОДО, когда отраженный сигнал существует на промежутке времени $t_{\min} \leq t \leq t_{\max}$, можно записать

$$Z^{cl}(t) = A^{cl}(t) e^{i[\psi_c^{cl}(t_{\min}) + \omega_D^{cl}(t_{\min})(t - t_{\min})]}, \quad t_{\min} \leq t \leq t_{\max},$$

где $A^{cl}(t)$ – мгновенная амплитуда отраженного сигнала, $\psi_c^{cl}(t)$ – фаза отраженного сигнала, $\omega_D^{cl}(t)$ – частота Доплера.

В представленном выражении для отражённого от ОДО сигнала под переменной t следует понимать внутрипериодное время, т.е. время внутри одного периода зондирующего сигнала, которое отсчитывается от начала периода зондирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512с.

2. Куприянов А.И., Сахаров А.В. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы: Учебн. пособие / А.И. Куприянов, А.В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007.

3. Охрименко А.Е. Основы радиолокации и РЭБ. Часть 1. Основы радиолокации. – М.: Воениздат, 1983.

УДК 004.43

М.Ф. Кудлацкая, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ВОЗМОЖНОСТИ JAVASCRIPT В 3D МОДЕЛИРОВАНИИ

Появление в 2011 году технологии WebGL значительно расширило возможности использования JavaScript в 3d моделировании. Трёхмерные объекты не только эффектно смотрятся на сайте, но и позволяют разработать интерфейс удобный для пользователя.

Одно из преимуществ WebGL это то, что приложения формируются как веб-страницы, а это значит, что они будут успешно выполняться на разных устройствах [1]. В настоящий момент WebGL поддерживается всеми десктопными и мобильными браузерами.

Преимущества использования WebGL [2]:

– кроссбраузерность и отсутствие привязки к определенной платформе;

- использование языка JavaScript, который достаточно распространен;

- автоматическое управление памятью;

- поскольку WebGL для рендеринга графики использует графический процессор на видеокарте, то для этой технологии характерна высокая производительность, которая сравнима с производительностью нативных приложений.

Для упрощения разработки WebGL-приложений существуют различные фреймворки и библиотеки. Первыми общедоступными библиотеками стали WebGLU и GLGE (уже не используется), сегодня популярны Three.js, Babylon.js и др. Возможности самой популярной библиотеки на сегодняшний день Three.js [3]:

- рендереры – canvas, svg или webgl;

- добавление и удаление объектов в режиме реального времени;

- туман;

- перспективная или ортографическая камеры;

- каркасная анимация, различные виды кинематики, покадровая анимация;

- несколько типов источников света – внешний, направленный, точечный;

- брошенные и полученные тени;

- шейдеры (glsl) (шейдер (англ. shader – затеняющая программа) – это программа для видеокарты, которая используется в трёхмерной графике для определения окончательных параметров объекта или изображения, может включать в себя описание поглощения и рассеяния света, наложения текстуры, отражение и преломление, затенение, смещение поверхности и множество других параметров;

- объекты – сети, частицы, спрайты, линии, скелетная анимация и так далее;

- множество предустановленных типов геометрии – плоскость, куб, сфера, тор, 3d текст и так далее;

- активная поддержка модификаторов – ткань, выдавливание;

- возможность загрузки множества типов данных – двоичный, изображения, json и сцена;

- экспорт и импорт объектов blender, openctm, fbx, 3d studio max и wavefront.obj файл.

3d модели в браузере применяются по-разному. Один из вариантов – это трёхмерные интерактивные баннеры. Это не основной контент сайта, но он его дополняет, поэтому основное требование к таким объектам – они должны немного весить и быстро загружаться. Трёх-

мерные баннеры часто используют в интернет-магазинах, чтобы пользователю было удобно рассмотреть товар с разных сторон. Возможность поменять какие-то элементы конфигуратора (например, изменить цвет товара), несомненно, является плюсом. Пример такого эффектного баннера можно посмотреть на сайте webxr-sneakers.lusion.co (рисунок 1).

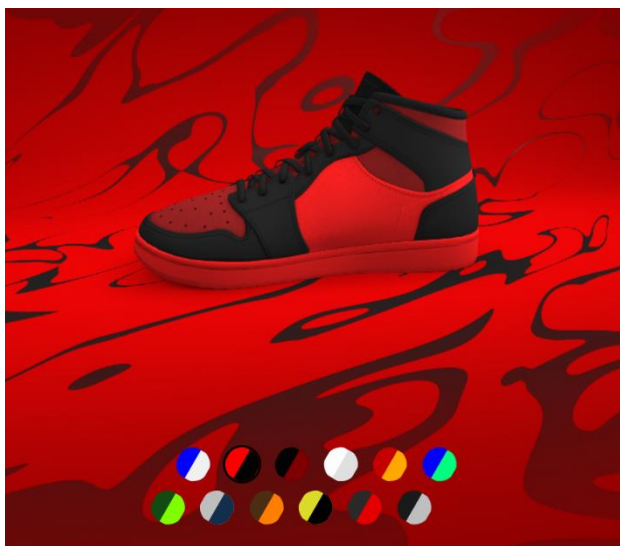


Рисунок 1 – Трехмерный баннер с настраиваемым конфигуратором

шина (рисунок 2), ею можно управлять с помощью кнопок-стрелок клавиатуры. Машиной можно сбивать все трехмерные объекты, а также поиграть в три мини игры, например, в боулинг. Можно заехать на определенные триггерные точки на карте и перейти по ссылке.



Рисунок 2 – Фрагмент сайта bruno-simon.com

3d визуализация может пригодиться при разработке макетов или карт. Например, это могут быть макеты жилых комплексов на сайте застройщика или на сайтах торговых центров, чтобы посмотреть, что где находится. Виртуальный шоурум ARMANI также разработан на основе технологии WebGL (рисунок 3).



Рисунок 3 – Фрагмент виртуального шоурума ARMANI

На рисунке 4 представлен примеры работ, продемонстрированные на сайте threejs.org выполненной с помощью этой библиотеки. Это трехмерная модель движущегося игрового персонажа, скорость движения которого, положение рук, ширину шага и др. можно настраивать.

Для разработки игр можно использовать готовые движки или фреймворки. Например, Unity поддерживает WebGL2.0. Код пишется на C#, транспайлерами все преобразуется в JavaScript, а точнее в формат WebAssembly. Использование движков, с одной стороны, удобно – там все готовое и есть графический редактор, темне менее есть и минусы:



- сырая реализация webgl (очень долго грузится и сложно в дальнейшем написании);
- большой объем;
- невысокая скорость работы приложений;
- сложность отладки; – другой язык программирования.

Поэтому использовать такие движки и разрабатывать на JavaScript это не очень удобно.

На сегодняшний день разработаны некоторые движки, которые позволяют разрабатывать игры непосредственно на JavaScript. Один из наиболее популярных – это Phaser. Движок позволяет создавать HTML5

игры для ПК и мобильных устройств. Начиная с 3-й версии это один из самых производительных игровых JS-фреймворков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трехмерная графика в вебе / Веб-сервис для IT-блогинга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/325646/>. – Дата доступа: 25.01.2022.

2. WebGL как современное искусство / Агентство веб-дизайна uplab [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.uplab.ru/blog/webgl-kak-sovremennoe-iskusstvo/>. – Дата доступа: 25.01.2022.

3. Javascript 3d графика / Орфографика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xn--80aahvkuarpc1be.xn--plai/raznoe/javascript-3d-grafika-8-luchshix-javascript-bibliotek-dlya-3d-grafiki-jquery-plaginy-i-javascript-resheniya-postovoij.html/>. – Дата доступа: 25.01.2022.

УДК 004.415.2

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

ПРИВЛЕЧЕНИЕ АУДИТОРИИ К ЦИФРОВЫМ ПРОДУКТАМ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕЙМИФИКАЦИИ

Любой, создаваемый цифровой интернет-продукт должен удовлетворять интересам бизнеса и интересам пользователей. Интересы бизнеса удовлетворяются в основном за счёт привлечения большего количества пользователей. Ну а пользователи привлекаются, если продукт имеет хороший дизайн.

Хороший дизайн имеет несколько характеристик, расположенных в иерархическом порядке (рис. 1):

- продукт должен иметь визуально приятный интерфейс;
- обеспечивать заявленную функциональность и покрывать потребности пользователя;
- работать максимально плавно и естественно, поддерживая возможности и ограничения платформ на которых используется продукт;
- вовлекать и создавать ценность для пользователя.

Первые три элемента реализовать технически проще, поэтому главным является вопрос: как привлечь наших пользователей? Рост роли компьютерных технологий, игр и гаджетов в последние 20 лет, заставляют разработчиков искать новые механизмы привлечения аудитории. И одним из этих механизмов стало использование гейми-

фикации. Геймификация (или игрофикация) – это использование игровых механик в не игровых сферах: медиа, образовании, бизнесе, финансах, спорте и т. д.



Рисунок 1 – Иерархия элементов хорошего дизайна (снизу вверх)

Целью применения геймификации являются – влияние на поведение пользователя и увеличение лояльности. Она помогает создать для пользователя дополнительную мотивацию – интерес. Согласно исследованиям, объем мирового рынка геймификации растет каждый год [1]. В 2014 году он составил \$1,4 млрд, в 2018 году – \$5,5 млрд, в 2020 году – \$9,1 млрд. Ожидается, что к 2022 году он достигнет \$22,9 млрд, к 2025 году – \$30,7 млрд, а к 2026 году – \$38 млрд.

Геймификация применяется почти ко всем аспектам жизни – бизнесу, журналистике, здравоохранению, образованию, финансовым услугам, транспорту и так далее .

Так в журналистике для привлечения внимания к проблеме незаконной рыбной ловле в Сьерра-Леоне – телеканал Al Jazeera в 2014 году создал игру под названием “Пиратская рыбалка”[2]. Игроку предлагается сыграть роль молодого репортера, который проводит журналистское расследование, общается с разными персонажами и собирает улики и факты для своего материала. У игрока возникает иллюзия, как будто он тоже подключается к расследованию, помогает сопоставить и рассортировать данные, подметить детали, продвинуться дальше по сюжету. За успешные действия начисляются очки, дополнительная активность поощряется значками-бейджами.

Метод геймификации актуален и в образовательной сфере. По версии Forbes, среди пяти трендов современного образования этот метод находится на 3-м месте. А на 4-м и 5-м – интерактивные учебники и обучение через видеоигры, что тоже является элементами геймификации. Это способ активизировать и постоянно удерживать внимание обучающихся.

Microsoft выпустила игру Ribbon Hero 2 [3] в качестве надстройки к своему пакету офисных приложений, чтобы помочь людям

научиться эффективно его использовать. Этот проект был описан Microsoft как один из самых популярных проектов, когда-либо выпущенных ее подразделением Office Labs. С помощью «Героя ленты» можно изучить все офисные программы: Word, Excel, PowerPoint и OneNote.

В последнее время геймификация становится новой формой обучения охране труда. Благодаря технологиям он может обеспечить реалистичное и эффективное моделирование реальной жизни, делая обучение технике безопасности менее пассивным и более увлекательным, более гибким с точки зрения управления временем и экономической альтернативой практике.

Что делает игру такой уникальной?

- Человек сам выбирает игру и ее направление

Игра основана на том, чего человек хочет, а не на том, что, как ему кажется, он должен делать. Игроки не только решают начинать или нет игру, но и выбирают как играть. В этом суть утверждения о самоуправляемости игры. И, конечно, главная свобода игры – свобода выхода из нее.

- Игра, сама по себе, является мотивацией.

Люди играют скорее ради самой игры, а не ради какой-то внешней награды. У игры есть цели, но они воспринимаются как часть этой деятельности, а не как ее основная причина.

- Игра строится по правилам.

Несмотря на то, что форма игры не является произвольной, а у игры есть структура и основа, у каждого игрока остается пространство для творчества.

- Игра – это воображение.

Игра всегда подразумевает мысленный уход игрока из реального мира и принятие вымышленной ситуации.

- Игра – активная, но не напряженная деятельность.

Так как игра не является ответом на внешние запросы, игрок не подвержен сильному давлению или стрессу. Именно поэтому такое состояние идеально для творчества и получения новых навыков.

Очевидно, если все эти основные характеристики игры будут реализованы, взаимодействие пользователя с продуктом будет по-настоящему увлекательным.

Поэтому основной задачей является выделение тех факторов, которые управляют поведением потребителей, в данной конкретной сфере и поиск такой характеристики или признака, которые смогут заинтересовать их в вашем продукте, позволить им проявить соб-

ственную реакцию в виде какого-то социального действия, а затем использовать триггер, чтобы возобновить интерес.

Техники геймификации предназначены для того, чтобы использовать естественные желания людей к социализации, обучению, мастерству, конкуренции, достижениям, статусу, самовыражению, альтруизму или закрытости, или просто их реакцию на обрамление ситуации как игру или игру.

Для длительной вовлечённости в процесс их аудитории нужны правильные стимулы – как материальные, так и духовные, должна быть определённая мотивация.

Таким образом, геймификация помогает улучшить все поведенческие факторы. Благодаря качественным и интересным игровым элементам улучшится ранжирование сайта в поисковой выдаче.

Учитывая то что геймификация проникла во все сферы нашей жизни, мы тоже стараемся использовать эти тенденции при планировании курсовых и дипломных работ. В процессе проектирования не только самих игр, но и других проектов, внедрение основных игровых компонентов может помочь создать интуитивный, по-настоящему увлекательный программный продукт. В учебном процессе в дисциплинах связанных с дизайном интерфейсов студентам выдается задание на проектирование интерфейса сайта, включающего качественный контент, грамотное юзабилити, современный и привлекательный дизайн. А также использование подходов, характерных для компьютерных игр в программных инструментах для неигровых процессов. Геймификация не должна внедряться после того как дизайн и продукт уже выпущен. Геймификация это неотъемлемая часть дизайнерского процесса. Будь то интернет магазин, или электронный учебник.

Конечная цель геймификации в том, чтобы дать пользователю новый взгляд на привычные вещи. А инструментарий у игровых приложений достаточно обширен. И ограничений здесь быть не должно. Как утверждал Хейзинга [4], игра настолько глубоко укоренилась в жизни людей, настолько важна для поведения человека, что она может стать частью почти любого опыта, который вы создаете.

Геймификация в веб-дизайне очень популярна, ведь это один из самых действенных способов удержать посетителя на сайте. Какой бы простой и примитивной не была бы игра, ее хочется пройти.

ЛИТЕРАТУРА

1. 54 Gamification Statistics You Must Know: 2021/2022 Market Share Analysis & Data. [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <https://financesonline.com/gamification-statistics/>

2. Аль-Джазира запускает интерактивное расследование. [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <https://www.aljazeera.com/features/2016/10/5/al-jazeera-launches-interactive-investigation-hacked>

3. Ремко В. Хелмс; Рик Барневельд; Фабиано Далпиас (2015). Метод проектирования геймифицированных тренингов. Материалы Тихоокеанской азиатской конференции по информационным системам (PACIS).

4. «Номо ludens: человек играющий». Йохана Хёйзинги в кратком изложении / [Электронный ресурс].-СПб., Изд-во Ивана Лимбаха, 2011. – Режим доступа:<https://republic.ru/posts/68115>

УДК 004.056.53

Н.П. Шутько, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦВЕТОВЫХ КООРДИНАТ NSL ДЛЯ ЗАЩИТЫ И ПЕРЕДАЧИ АВТОРСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Развитие информационных технологий привело к тому, что сейчас информацию ставят в один ряд с общепринятыми материальными ценностями. Получение доступа к ней с появлением глобальных компьютерных сетей стало невероятно простым. Легкость и скорость такого доступа значительно повысили и угрозу нарушения безопасности данных при отсутствии мер по их защите, а именно, – угрозу неавторизованного доступа (без разрешения автора) к информации.

Данная проблема приобретает все большую актуальность. Однако среди существующих методов защиты ни один из них не дает полной гарантии. Отсутствие универсальных методов является источником постоянного поиска новых решений. В последние годы предпринимаются многочисленные попытки создания инструментов защиты контента от несанкционированного использования, особенно через глобальные информационные сети.

Одно из наиболее эффективных направлений реализации методов и средств защиты прав интеллектуальной собственности связано со стеганографией, или ее совместным использованием с криптографией.

Долгое время стеганография развивалась в рамках другой науки о методах обеспечения конфиденциальности – криптографии. В эпоху глобального распространения IT-технологий стеганография как наука получила активное развитие и распространение во многие отрасли жизни и деятельности человека.

Сфера интересов в данной статье связана с электронными текстовыми документами, которые выступают в роли контейнеров C_j для

встраивания тайного (авторского) сообщения M_i .

Ранее в [1] был предложен и исследован метод текстовой стеганографии, основанный на модификации цветковых координат символов текста.

Суть разрабатываемого метода заключается в следующем. В текстовом процессоре MS Word цвет символов может быть представлен не только в цветовой модели RGB, но и HSL (рис. 1).

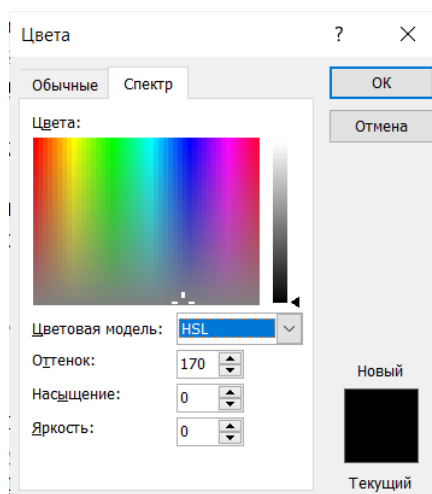


Рисунок 1 – Представление цветовой модели HSL

Рассмотрим, что из себя представляет цветное пространство HSL. Для наилучшего понимания и наглядности предлагаемого метода установим цвет символа красный. В цветовой модели RGB значения цветов в основных каналах (красном, зеленом, синем) будут равны 255, 0, 0 соответственно (рис. 3).

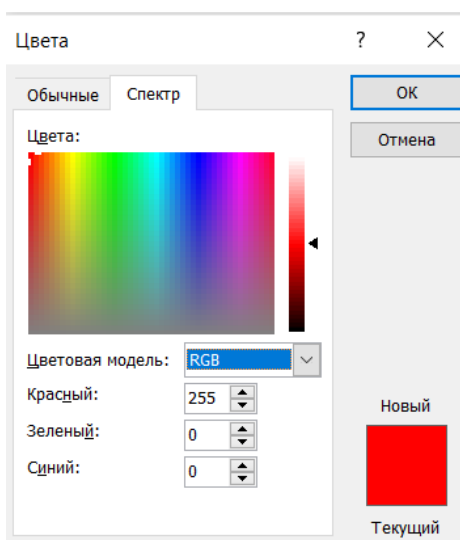


Рисунок 3 – Цвет символа в модели RGB

Цвет этого символа в данной вкладке можно определить и в цветовом пространстве HSL, параметрами которой, как уже упомина-

лось выше, являются оттенок, насыщенность и яркость (названия параметров в различных источниках могут отличаться, это обусловлено особенностями перевода с английского). Как видно из рис. 4, координаты в данном случае будут равны 0, 255 и 128.

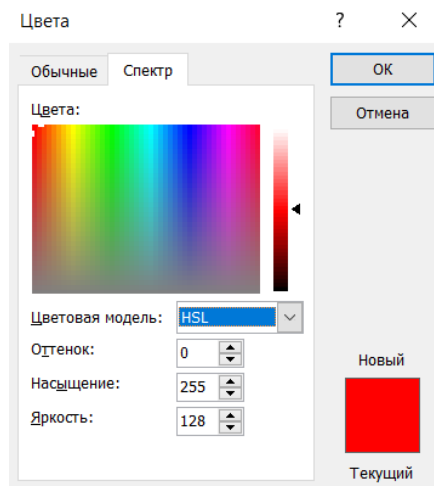


Рисунок 4 – Цвет символа в модели RGB

В последнее время цветовая модель HSL получает все большее распространение. Особую популярность она приобретает для описания цветов с помощью формального языка описания внешнего вида документа (веб-страницы) CSS3. Необходимо отметить важную особенность: при указании цвета в каскадных таблицах стилей цветовой тон задается градусом поворота (от 0° до 360°) цветового спектра, насыщенность и светлота указываются в процентах в диапазоне от 0% до 100% (либо от 0 до 1). Однако в электронных документах, созданных в текстовом процессоре MS Word, цветовой тон (оттенок), насыщенность и яркость (светлота) задаются аналогично цвету в цветовой модели RGB в промежутке от 0 до 255.

Таким образом, был предложен и описан новый метод текстовой стеганографии, который основан на модификации цвета символов текста, представленного в цветовой модели HSL. Изменение параметров цветового тона, насыщенности и интенсивности позволяет осаждать тайное сообщение (авторскую информацию) в процессе прямого стеганографического преобразования защищаемого текстового контейнера либо передавать эту информацию по стегоканалу. В первом случае решается задача защиты права интеллектуальной собственности, во втором – обеспечения повышенного уровня конфиденциальности передаваемых сообщений между абонентами.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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-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. 41-43.

УДК 004.928

Е.С. Мирончик, доц.; С.А. Осоко, ассист. (БГТУ, г. Минск)

2,5D-АНИМАЦИЯ В SPINE

Создание реалистичных анимаций живых организмов (людей, насекомых, птиц и растений) является серьезным препятствием для разработчика компьютерных игр. Многие обращаются к листам спрайтов, используя специальное программное обеспечение, чтобы превратить серию рисунков в «движущуюся картинку», как это делали аниматоры Диснея, кадр за кадром. Это сложный и трудоемкий процесс.

Вместо создания покадровой анимации Spine работает, используя скелетную анимацию. Созданный скелет и «одевается» в разные скины. С использованием ключевых кадров анимация создается за короткое время. Spine быстро набирает популярность благодаря технологиям имитации трехмерного изображения.



Рисунок 1 – Вращающийся на 360 градусов объект

Текстуры для анимации могут быть подловлены в Adobe Illustrator, Adobe Photoshop. Процесс импорта текстур можно существенно ускорить, используя скрипты, поставляемые вместе с программой.

Скрипты сохраняют каждый слой из графического редактора в отдельное png изображение, при этом записывается Json-файл, в котором содержится информация о расположении текстур. После импорта Json-файла в Spine будет получен собранный персонаж.

Непосредственно рабочий процесс в Spine выглядит следующим образом:

– импорт текстур;

- риггинг (настройка скелета);
- скиннинг (настройка сетки и привязка его к костям);
- анимация;
- экспорт Json и проверка.

Цель работы: рассмотреть способы создание 2,5D (псевдо-3D) анимации в Spine для компьютерных игр.

Подобная имитация может быть реализована несколькими способами с использованием сетки.

Чтобы придать персонажам более естественный вид, Spine предлагает дополнительные возможности из мира 3D-анимации – сетки и веса. Благодаря сеткам, изображения приобретают гибкость и могут гнуться и деформироваться так, как вам нужно. Веса привязывают сетки к костям так, что, в зависимости от движения костей, автоматически деформируются и изображения.

Сетки также иногда увеличивают скорость работы игры, поскольку отпадает необходимость рисовать прозрачные части изображений, а значит, использовать заполнение. Это особенно важно для мобильных устройств.

С помощью сетки можно деформировать изображение, тем самым создавая трехмерный эффект. При этом возможны несколько путей дальнейшей работы с сеткой. Первый путь – непосредственная анимация точек сетки.

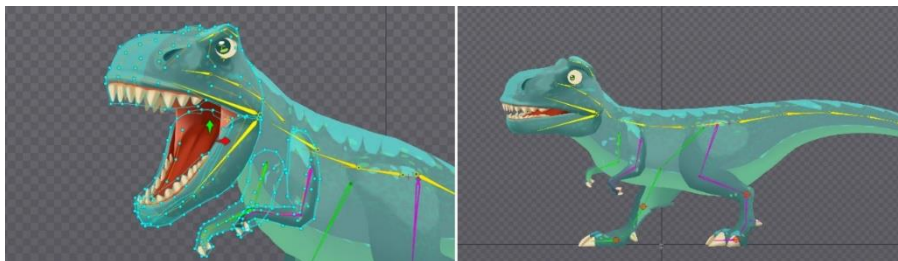


Рисунок 2 – Пример деформации сетки для создания псевдо-3D

Анимация непосредственно точек в сетке это один из самых негибких вариантов, который в случае необходимости будет трудозатратно переделывать. Поэтому рекомендуется по возможности не изменять сетку, а управлять ею с помощью костей.

Также распространение получил вариант имитации объемной графики с использованием глобальных контролов. Контролы – это управляющие элементы, к которым с помощью весов можно привязывать элементы сетки и кости. При этом существует возможность сложной настройки степени влияния контрола на кости. Например, при смене ракурса можно управлять тем, насколько сильно изменение положения контрола повлияет на изменение положения, связанных с ним костей.

Готовую анимацию отправляют в игровой движок. Однако часто возникают ситуации, когда внешний вид анимации в Spine и в рантайме существенно отличается. Поэтому лучше заранее провести тест анимации, в ходе которого выявятся основные проблемы. Упростить процесс можно используя Skeleton Viewer, что позволит проверить анимацию, не загружая ее в движок.

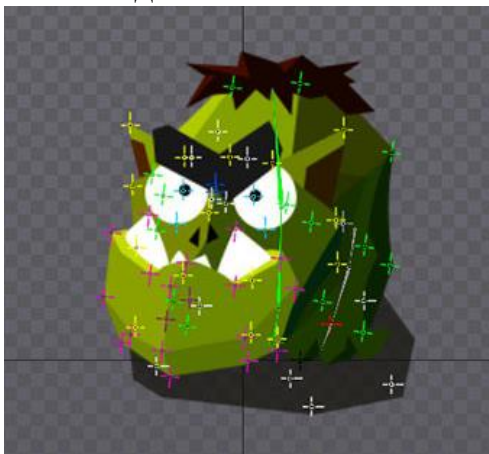


Рисунок 3 – Пример риггинга лица с использованием большого количества костей

Подытоживая можно выделить следующие способы создания 2,5D (псевдо 3D) анимации в Spine:

- анимация непосредственно точек в сетке;
- анимация большого количества костей в ключевых точках сетки с использованием весов;
- анимация через глобальные контролы (несколько костей, полностью управляющих сменой ракурса).

Кроме уже упомянутых достоинств Spine, можно отметить возможность использования различных скинов для одного скелета, а также возможность копирования анимаций одного скелета на другой схожий по структуре скелет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анимация в Spine, советы и рекомендации, псевдо 3D эффект / Хабр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/315950/> – Дата доступа: 28.02.2022.

2. Esotericsoftware [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.esotericsoftware.com/> – Дата доступа: 28.02.2022.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЮДЖЕТА ПРОЖИТОЧНОГО МИНИМУМА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЦЕН ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Бюджет прожиточного минимума (БПМ) в среднем на душу населения установлен в размере 296,55 BYN (с 1 ноября 2021 г. по 31 января 2022 г. – 288,01 BYN).

По основным социально-демографическим группам утверждены следующие размеры БПМ:

- трудоспособное население – 329,35 BYN (ранее – 321,22 BYN);
- пенсионеры – 224,10 BYN (ранее – 217,19 BYN);
- дети в возрасте до трех лет – 187,04 BYN (ранее – 180,64 BYN);
- дети в возрасте от трех до шести лет – 259,47 BYN (ранее – 251,26 BYN);
- дети в возрасте от шести до восемнадцати лет – 317,33 BYN (ранее – 307,98 BYN).

В настоящее время на рынке энергоресурсов (газа и нефти) происходит серьезный рост цен. Рассмотрим, как влияют на отдельные статьи затрат эти события на рынке энергоносителей. Первым элементом в списке мы рассмотрим затраты на питание. Для этого найдем оптимальный набор продуктов по цене и сбалансированности питания и рассмотрим, как на него влияет изменение цен на энергоресурсы. Составим математическую модель этой задачи.

Целевая функция записывается по критерию минимальной цены продуктов питания

$$f(x_1, x_2, x_3) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot x_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

где c_i – стоимость i -го продукта; x_i – количество i -го продукта; n – количество видов продуктов.

В качестве ограничений вводим минимальное количество калорий необходимое для нормальной жизни:

$$\sum_{i=1}^n e_i \cdot x_i \geq E_{\text{тр}}, \quad (2)$$

где e_i – количество энергии содержащихся в i -ом продукте; $E_{\text{тр}}$ – требуемое количество калорий.

Для обеспечения сбалансированного питания необходимо ввести ограничения на снабжение организма пластическими веществами (белки, минеральные вещества, жиры и углеводы, химические вещества, входящие в состав продуктов и являющиеся строительными материалами для создания клеток и внутриклеточных структур)

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{\min,1} \leq \sum_{i=1}^n t_{i,1} \leq t_{\max,1} \\ t_{\min,2} \leq \sum_{i=1}^n t_{i,2} \leq t_{\max,2} \\ \dots \\ t_{\min,m} \leq \sum_{i=1}^n t_{i,m} \leq t_{\max,m} \end{array} \right. \quad (3)$$

Где $t_{\min,j}$ и $t_{\max,j}$ – соответственно, минимальное и максимальное количество пластических веществ j -го вида; $t_{i,j}$ – количество j -го пластического вещества в i -ом продукте.

После решения данной задачи следующим этапом является решение является учет количества энергии необходимой для выпуска продовольственной продукции. При этом учитывается, что затраты могут быть как прямыми, так и косвенными. Примером прямых затрат являются затраты на выпуск продукции и транспортные операции. Энергозатраты на выпуск по отдельным видам продукции может составлять до 70% от их себестоимости.

В качестве косвенных затрат следует учесть затраты, которые необходимы при производстве продукта, являющегося сырьем при производстве продуктов питания или одежды. К таким продуктам относятся, например, удобрения. По данным источника [1] урожайность существенно зависит от наличия или отсутствия удобрений при произрастании растений. При выращивании хлопка без удобрений и севооборота урожайность составляет 12–14 ц/га. При внесении требуемых удобрений в необходимом количестве урожайность возрастает до 34–36 ц/га. Рост составляет почти три раза, в результате чего не растут цены на сырье. Но такое положение было при стабильных ценах на энергоресурсы.

При производстве продуктов питания растительного происхождения следует вносить достаточно большое количество азотных, калийных и фосфорных удобрений. Производство азотных удобрений является чрезвычайно энергозатратным. По данным [2] до 26% себестоимости составляют затраты на энергоносители. Таким образом рост цен на спотовом рынке на газ с \$450 за 1000 м³ в 2020 году до \$1200-1500 в конце 2021 года и в настоящее время приводит к росту

себестоимости производства в 1,87 - 2,33 раза. Что в свою очередь вызовет рост цен на продукты питания. Оценить величину реального роста не представляется возможным так как производители растительной пищи могут выбрать несколько разных вариантов своих действий в существующих реалиях. В случае если производители будут вносить удобрения в нужном количестве для роста растений затраты увеличатся на 62,95% на основании цен [3] (таблица 1).

Таблица 1 – Расчет затрат на стоимость удобрений

Вид удобрения	Норма внесения, кг/г	Цена 1 кг		Цена всего, руб	
		В 2019	В 2022	В 2019	В 2022
Азотные	120	1,01	1,88	121,2	225,6
Фосфорные	210	0,13	0,2	27,3	42
Калийные	189	1,09	1,63	206,01	308,07
Всего				354,51	575,67

Затраты на отопление зависят от площади жилого помещения и качества утепления ограждающих конструкций. Если площадь помещения можно относительно просто привести к какому-то нормативному параметру, то качество утепления ограждающих конструкций, а значит затрат на отопление может отличаться в несколько раз. В таблице 2 приведены данные расчета потребного количества газа на отопление. Расчет сделан на основании того, что теплотворная способность при сжигании 1 м³ природного газа составляет 9,3 кВт по методике, изложенной в [3] затраты на отопление могут составлять.

Таблица 2 – Расчет количества природного газа на отопление, учитывая потери через 1 м² ограждающих конструкций, потраченное за отопительный период

Материал стен	Сопротивление теплопередаче, (м ² ·°C)/Вт	Потери тепла через 1 м ² за отопительный сезон, кВт·ч	Количество газа потраченное за отопительный период, м ³
Кладка полнотелого силикатного кирпича 1800 кг/м ³ на ЦПР толщиной 0,51 м	0,62	162,57	17,48
Газобетон, газосиликат автоклавный D450 толщиной 0,4 м	3,19	32,84	3,53

Таким образом затраты на газ в ценах 2020 года на 1 м² ограждающих конструкций из кирпича составляет 16,52 ВУН в 2020 году и 3,34 ВУН из энергоэффективных материалов. В 2022 году это составит 72,63 ВУН и 14,67 ВУН. Как видно рост затрат на отопление может вырасти почти в три раза.

Стоит отметить что в случае привлечения заемных средств для выполнения процесса выращивания урожая производитель вынужден будет учесть риски невозможности рассчитаться по кредиту из-за возможного роста цен на момент продажи своей продукции, и чтобы не оказаться в долгах, увеличит в несколько раз стоимость своей продукции для предотвращения возможных убытков.

Выводы

Каждая статья затрат в БПМ содержит значительную долю затрат на энергию.

Ситуация на рынках энергетического сырья показывает тенденцию к устойчивому росту.

В результате затраты на энергию будут расти, что приведет к росту БПМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хроменкова, Т. Л. Планирование себестоимости сельскохозяйственной продукции : рекомендации / Т. Л. Хроменкова, Н. Н. Минина. – Горки : БГСХА, 2016. – 48 с.

2. Производство минеральных удобрений в России: внутренняя опора. – [Электронный ресурс] / Национальное Рейтинговое Агентство. – Режим доступа: https://www.ranational.ru/sites/default/files/Обзор_Минудобрения_НРА_июнь%202020.pdf#:~:text=Газ%20является%20сырьем%20для%20производства,в%20расчете%20на%20тонну%20аммиака

3. Сведения об отпускных ценах на азотные удобрения, выпускаемые ОАО «Гродно Азот». – [Электронный ресурс] / ОАО «Гродно Азот». – Режим доступа: <https://azot.by/products/prays-listy/prays-listy.php?ID=3209>. – Дата доступа: 25.02.2022.

4. ТКП 45-2.04-43-2006* (02250) Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2015.

УДК 004

С.А. Осоко, ассист.; С.В. Кунцевич ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ТЕРМИНАЛЬНЫЕ СЕРВЕРЫ И «ТОНКИЕ КЛИЕНТЫ» ДЛЯ СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ

Терминальный доступ – доступ к информационной системе (ИС), организованный так, что локальная машина-терминал не выполняет вычислительной работы, а лишь осуществляет перенаправление

ввода информации (от мыши и клавиатуры) на центральную машину (терминальный сервер) и отображает графическую информацию на монитор. Причем вся вычислительная работа в терминальной системе выполняется на центральной машине [1].

Рабочие места пользователей оборудуются терминалами «тонкий клиент» – недорогими и простыми специализированными устройствами, занимающими минимум места, бесшумными и практически не требующими обслуживания. В качестве этих устройств могут являться компьютеры без установленных операционной системы и программ (все загружается с сервера), являющиеся лишь устройством для ввода и отображения информации. В качестве терминала может использоваться практически любой компьютер. Все приложения выполняются на сервере – клиенту по сети передаются только данные об обновлении экрана, а от клиента к серверу нажатия клавиш и перемещения мыши [2].

По сравнению с традиционной схемой организации ИС, когда у каждого пользователя устанавливается полноценный ПК, терминальная схема имеет ряд существенных преимуществ: экономическая эффективность, высокая надежность, обеспечение сохранности данных и их безопасности, экономия на обновлении персональных компьютеров и лицензиях на ПО, быстрое создание новых рабочих мест, удобное администрирование и др. Следует отметить, что терминальный режим работы позволяет создавать распределенные информационные системы и устанавливать удаленные рабочие места.

На сервер устанавливается терминальная серверная ОС, на которой настраивается и запускается терминальная служба. В качестве терминального сервера можно использовать систему Proxmox [3].

Основными преимуществами в случае применения решений «тонкого клиента» являются:

- снижение начальных затрат на приобретение ПК, поскольку требования к их конфигурации минимальны, а тонкие клиенты производятся без встроенных носителей информации;

- унификация – все терминалы имеют одинаковый набор программного обеспечения;

- простота первоначального внедрения – нет необходимости настраивать каждый персональный компьютер в отдельности, присутствует централизованное управление информационным процессом;

- экономия времени системного администратора. Все тонкие клиенты абсолютно одинаковы, вероятность поломок сведена к минимуму, а программное обеспечение установлено только на сервере;

– масштабируемость. Созданный единожды образ системы для работы всей группы пользователей позволяет при минимальных затратах поддерживать легко масштабируемую сеть. Возможно быстрое создание любого количества новых рабочих мест;

– безопасность и отказоустойчивость. Компьютерный терминал, загружаясь, получает операционную систему «от производителя», настройка которой осуществляется только отделом информационной поддержки. Все модификации операционной системы и прикладных программ никак не влияют ни на других пользователей, ни на образ, хранящийся на сервере. Вся пользовательская информация хранится на сервере и регулярно резервируется, что увеличивает отказоустойчивость;

– защита от утечек информации – нет локальных носителей поэтому нет возможности сделать копии документов на съемные носители информации.

Тонкие клиенты применяются в основном в организациях с ограниченным штатом IT специалистов, с повышенными требованиями к безопасности данных, где большинство сотрудников используют компьютеры для выполнения однотипных задач: набор данных операторами, просмотр информации (библиотеки, школы, различные справочные бюро), офисная работа.

Терминальные решения незаменимы при работе с растущими потребностями в вычислительных мощностях, так как срок службы терминала в 2-3 раза превышает срок службы ПК, а для повышения его производительности обновлять нужно только серверную часть (и гораздо реже среду передачи – вычислительную сеть).

Требования к серверному оборудованию зависят от количества подключенных клиентов (тонких клиентов), требований запускаемого программного обеспечения, с которым работает клиент. Обновление или замена серверного оборудования происходит при увеличении количества рабочих мест и/или переходе к новой версии программного обеспечения.

Рекомендованные области применения:

– в любых бизнес-процессах, основанных на технологиях клиент – сервер;

– в образовании;

– для эффективной работы с Web-приложениями;

– в здравоохранении;

– в банках и финансовых организациях;

– в сервисных компаниях любого масштаба;

– в розничной и оптовой торговле, логистике.

Задачи, которые легко выполнимы на терминалах. Работа с документами (Word, Excel, PowerPoint и пр.), e-mail, Интернет, системы автоматизации (1С и пр.), ERP и CRM системы (SAP, Ахapta, Navision и пр.), работа с базами данных, электронными справочниками.

Недостатки использования терминального сервера:

– Влияние на большое количество пользователей в случае аварийной ситуации.

– Необходимость применения широкого пропускного канала – применение терминального сервера требует высокой пропускной способности сети. В специализированных работах (с графикой InDesign и CorelDraw, в проектных работах с AutoCAD) с малым количеством рабочих мест, организация и поддержка высокопропускной сети потребует серьезных затрат.

– Приобретение более дорогого ПО – не все программы позволяют работать в них с одного сервера. Для некоторых необходимо приобрести более дорогие версии.

– Сложность администрирования терминального сервера – для организации и обслуживания терминального доступа требуются соответствующие компетенции, навыки и опыт системного администратора. Ошибки настройки могут привести к перебоям работы всей компании.

Суммировав вышесказанное можно говорить о том, что терминальные системы позволяют быстро разворачивать новые классы, легко переходить от обычных стационарных систем к терминальным используя «старый» парк оборудования. Позволяют значительно экономить средства на закупку оборудования и на энергозатраты (потребляемая мощность терминала не превышает 15-20Вт, в то время как обычные ПК, для сравнения, потребляют 150 Вт). Снижается нагрузка на локальную сеть, для работы системы с терминальным доступом достаточно скорости 100 Мбит/с. Сумма затрат на лицензионное ПО при использовании терминалов ниже, чем при использовании ПК. Упрощается локальное администрирование, поскольку все ПО устанавливается централизованно на сервере, обновление и замена ПО также происходят только на сервере. Терминалы практически не нуждаются в локальном администрировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терминальный доступ. [Электронный ресурс] / Свободная энциклопедия Википедии. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Терминальный_доступ. – Дата доступа: 09.01.2022.

2. Репрынцев, А.А. Современный взгляд на системы с терминальным доступом [Электронный ресурс] / А.А. Репрынцев // Современные информационные технологии. – Режим доступа: http://www.rusnauka.com/26_OINXXI_2009/Informatica/52402.doc.htm. – Дата доступа: 09.01.2022.

3. Осоко, С.А. Программные и аппаратные средства для организации дистанционного обучения / С.А. Осоко, С.В. Кунцевич. // Информационные технологии: материалы 85-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1-13 февраля 2021 года [Электронный ресурс] / отв. за издание И.В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2021. – С. 198–201.

УДК 003.26

Н.В. Попеня, ассист.; Д.М. Романенко, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ НАХОЖДЕНИЯ КОНТУРОВ В СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЯРКОСТНОЙ КОРРЕКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Распространённым приёмом повышения эффективности встраивания сообщения в стегосистемах является выбор определенного множества контейнеров, поскольку это оказывает существенное влияние на надежность стегосистемы и возможность обнаружения факта передачи скрытого сообщения [1].

Предварительный анализ изображений позволяет сделать вывод о том, что большинство из них подвержено появлению следующих негативных элементов: малоконтрастность, зашумленные участки, смазанные границы, эффект гало и т. п. При работе с изображением возможно провести операции по улучшению визуального качества: повышение контраста, устранение размытости, подчеркивание границ, фильтрация, а также операциям сегментации и выделения контуров изображения [2]. В некоторых случаях необходима предварительная обработка изображения для создания условий, повышающих эффективность и качество выделения и распознавания искомым или изучаемых объектов. В стеганографическом алгоритме яркостная коррекция применяется не только на стадии предобработки контейнера-изображения, но и как инструментальный для осаждения информации в двоичном виде.

Следует отметить, что в разрабатываемом стеганографическом алгоритме контейнер – информация, в которую встраивается тайное сообщение – это контуры объектов на изображении. Вложение информации в контуры изображения обеспечивает лучшую защищенность (в первую очередь от визуального обнаружения) по сравнению с вложением в «сглаженные» области изображения.

Контур – это важная особенность изображения, используемая для полной интерпретации изображения. Обнаружение контуров включает в себя множество математических методов, направленных на определение точек на цифровом изображении, в которых яркость изображения резко изменяется, иными словами, имеет неоднородности. Точка, в которой происходит разрыв яркости на изображении, определяется как контур.

Обнаружение контуров может быть выполнено различными методами, общим им является стремление рассматривать границы как область резкого перепада функции яркости изображения, отличает же их вводимая математическая модель понятия границы и алгоритм поиска граничных точек. В основном, методы делятся на две категории: градиентный метод и метод на основе Лапласиана. При градиентном методе обнаружение контуров выполняется путем просмотра максимума и минимума первой производной изображения. Метод Лапласа ищет пересечения нулей для второй производной изображения [3].

В соответствии с поставленными задачами к алгоритмам выделения контуров предъявляются следующие требования: выделенные контура должны быть наиболее тонким, без разрывов и замкнутыми. Таким образом, процесс выделения контуров несколько усложняется в связи необходимостью применять алгоритмы изменения толщины контура и устранения разрывов. Однако и это не всегда дает желаемого результата – в большинстве случаев контуры получаются незамкнутыми и, как следствие, непригодными для ряда процедур анализа.

Следующим усложнением алгоритма выделить то, чтобы точно извлечь данные, контурные пиксели до и после вложения должны оказаться одинаковыми. Механизм сохранения контуров должен сохранить контуры неизменными после вложения. Этот процесс можно разделить на два этапа. На первом изображение подготавливается для алгоритма обнаружения контура. Другая стадия выполняет окончательный контроль над пикселями изображения после вложения, который гарантирует, что контурные пиксели будут неизменными.

За счет исключения пикселей, имеющих большую разность яркости по сравнению их с окрестностями, и использования многократ-

ного встраивания битов стеганографический алгоритм позволяет повысить вероятность правильного извлечения битов информации и сохранить контуры неизменными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грибунин, В.Г. Цифровая стеганография / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев. – М. : СОЛОН-Пресс, 2002.
2. В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко, Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008.
3. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман ; пер. с англ. – 4-е изд., электрон. – М. : Лаборатория знаний, 2020.

УДК 004.056.5:655.3.06 (043.3)

О.А. Новосельская¹, доц., канд. техн. наук;
Н.А. Савчук¹, ассист.;

Л.Г. Варепо², проф., д-р. техн. наук;

И.В. Нагорнова³, доц., канд. техн. наук;

¹(БГТУ, г. Минск), ²(ОмГТУ, г. Омск, РФ), ³(МПУ, г. Москва, РФ)

ОСОБЕННОСТИ ОТОБРАЖЕНИЯ ШТРИХОВЫХ ЗАЩИТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Штриховой код – графическая информация, наносимая на поверхность, маркировку или упаковку изделий, предоставляющая возможность считывания её техническими средствами – последовательность чёрных и белых полос, либо других геометрических фигур [1].

На данный момент наибольшее распространение и известность получили линейные и двумерные штриховые коды. Линейные штрих-коды считываются в одном направлении и позволяют кодировать небольшой объем информации (до 20–30 символов). Двумерные же расшифровываются в двух измерениях и могут содержать до нескольких страниц текста. В последние годы линейное штриховое кодирование все больше уступает двумерному не только из-за объема кодируемой информации, но и из-за предоставляемых возможностей в сфере дизайна. При этом популярность QR-кодов, являющихся наиболее распространенными двумерными штрих-кодами, постоянно растет. Особое влияние на использование их во все большем количестве сфер оказала пандемия COVID-19.

При этом штриховое кодирование, хоть и является относительно дешевым и распространенным методом кодирования информации, имеет ряд существенных недостатков: легкие повреждаемость и возможность подделки, невозможность быстрого считывания большого количества кодов и трудность маркировки некоторых материалов. Возможными решениями данных проблем являются 3D-

кодирование, barcode, точечный код и совместное использование QR-кодов и RFID.

С целью изучения возможности внедрения штриховых элементов в защитные изображения проведен эксперимент по определению влияния параметров масштабирования и свойств мониторов на результирующее изображение.

Известно, что человеческий глаз различает преимущественно три зоны излучения: сине-фиолетовую, зеленую и красную [2]. При этом известно свойство глаза воспринимать одинаково цвета излучений, которые, имеют различный спектральный состав, называемое метамерностью [3]. Метамерность и трехкомпонентность цветового зрения дают возможность получить множество цветов с помощью ограниченного их набора, например, красными, зелеными и синими излучениями либо голубой, пурпурной и желтой красками. Это было использовано при разработке переменных узоров. Поскольку линии имеют изгибы и формируются по тригонометрическим законам происходит визуальное наложение базовых цветов с разным шагом, что формирует градиентный переход от одного основного цвета к другому через смесевой. В результате изображение выглядит неоднородным.

С целью изучения влияния экранного разрешения было взято два типа одного и того же изображения. Первый тип содержал дискретные линии (рис. 1 *а*). Второй – линии постоянной плотности (однородные) – показан на рис. 1 *б*. Сами гильоши сформированы из бинарных цветов триады субтрактивного синтеза: пурпурного и желтого.

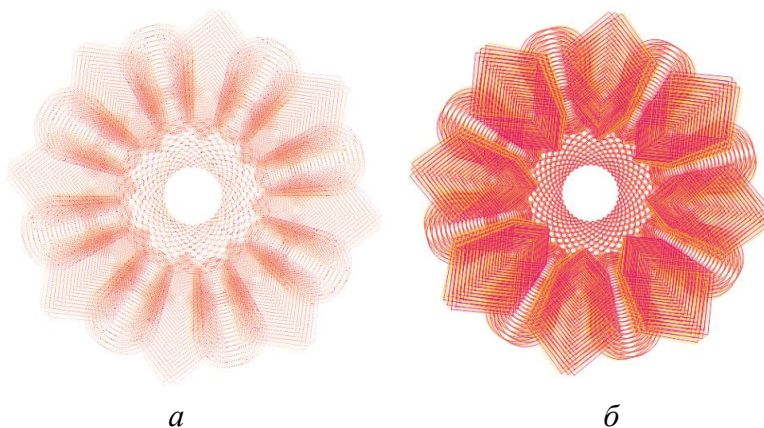


Рисунок 1 – Пример изображения с штриховыми векторными элементами в масштабе 250%, состоящего из дискретных (*а*) и однородных (*б*) линий

На рис. 2 показаны векторные узоры рис. 1, представленные в масштабе 125%.

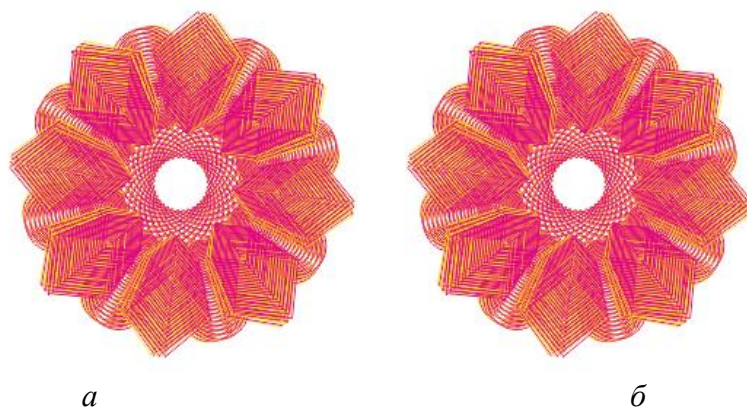


Рисунок 2 – Пример изображения с штриховыми векторными элементами в масштабе 125%, состоящего из дискретных (а) и однородных (б) линий

Уменьшение изображения на экране просмотра приводит к визуальной идентичности узоров с различной комбинацией векторных линий. Это можно объяснить удалением частей изображения по вертикальной и горизонтальной развертке монитора за счет измерения разрешения просмотра.

На линейных узорах изменение структуры линий и масштаба воспроизведения позволяет проявить различные части заданных штрихов (рис. 3). При задании масштаба воспроизведения 200% разрешение вывода соответствует 150 dpi (рис. 3 а). Увеличение масштаба воспроизведения до 400% соответствует минимальному разрешению печати в 300 dpi.

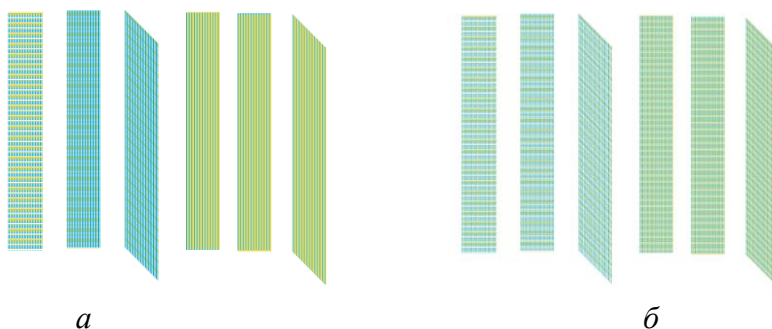


Рисунок 3 – Цветное штриховое изображение при разрешении 150 dpi (а) и 300 dpi (б)

Из рис. 3 видно, что при уменьшении масштаба часть структуры исходного изображения теряется и вместо горизонтальных элементов воспроизводятся вертикальные однородные линии (рис. 3 а). При задании масштаба с учетом разрешения печатных устройств формируется более корректная структура, передающая заданные штрихи (рис. 3 б). Также заметно изменение цвета. За счет чересстрочной развертки при дискретной передаче штрихов лучше передается только один из заданных цветов. Смещения тонов на вертикальных штрихах почти не

происходит, и они задают цвет фона. Второй цвет в области пересечения дает смесевой.

Так как было установлено, что масштабирование изображения на экране монитора приводит к формированию различной цветности, проведен эксперимент по выводу на разработанных векторных штриховых изображениях на различных принтерах. При выводе на лазерном принтере достигается высокая четкость штрихов, однако визуального смещения тона не происходит. Струйный принтер позволяет воспроизвести более однородные тона. При сравнении результата вывода на струйном принтере на различных видах бумаги (офсетной и мелованной) формируется некоторое смещение тональности вследствие различной белизны бумаги. Установлено, что если бумага характеризуется большей белизной, то происходит формирование холодного тона.

Выводы:

1. При внедрении штриховых данных необходимо учитывать зависимость от разрешения вывода и заданной толщины штрихов.

2. При выводе на лазерном принтере необходимо задавать толщину линий не менее 100 мкм, в то время как струйный принтер хорошо передает цветность при толщине линий в 10 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Русский орфографический словарь: около 180 000 слов [Электронная версия] / О. Е. Иванова, В. В. Лопатин (отв. ред.), И. В. Нечаева, Л. К. Чельцова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Российская академия наук. Институт русского языка имени В. В. Виноградова, 2004.

2. Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов. – М., Радио и связь, 1987.

3. Бондаренко В.М. [и др.]. Пространственное зрение. – СПб.: Наука, 1999.

УДК 004

А.В. Харланович, маг.; О.А. Новосельская, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛОВ В ТОПОЛОГИИ 3D-ОБЪЕКТОВ

Существуют несколько видов трехмерного моделирования. Объемная визуализация с использованием полигонов является самой первой разновидностью 3D-моделирования. Это низкоуровневое моделирование, которое позволяет визуализировать объект с помощью полигональной сетки.

Простыми словами, Полигональная сетка – представляет собой

набор вершин, ребер и граней, которые определяют форму многогранного объекта в трехмерной компьютерной графике. По своей сути, когда мы видим 3D-модель, мы и видим полигональную сетку, так как составляющие полигональной сетки и образуют формы в созерцаемой нами модели.

Обычно, когда мы рассматриваем законченный и отрендеренный 3D-объект, то зачастую нам не показывают его в сетчатом виде. Но при создании 3D-объекта, художники очень часто используют режим отображения сетки (wire-frame), для того, чтоб правильно строить топологию и формы модели. Работая в этом режиме, художники могут манипулировать составляющими полигональной сетки и тем самым создавать 3D-модель нужным им образом с учетом правильной формы и топологии.

Являясь неотъемлемой частью 3D-модели, работа над сеткой происходит в компьютерных программах, предназначенных для работы с 3D-графиком. Из наиболее популярных программ можно выделить: Autodesk Maya, Autodesk 3Ds-max, Blender, Modo и другие.

Они позволяют работать с сеткой в более традиционном виде, точно так, как над формированием статуй работают классические скульпторы. Вместо работы с каждым полигоном по отдельности или с группой полигонов, 3d скульпторы работают одновременно с тысячами или десятками тысяч полигонов при помощи специальных кистей и инструментов, которые встроены в программы для 3D-скульптинга.

На рисунке 1 изображены уровни детализации двух 3D-моделей. Чем больше производится разбиение на полигоны, тем выше уровень ее детализации. Топология полигональной сетки – это плавная и потоковая организованность полигонов в 3D-модели или как именно полигоны формируют 3D-модель.

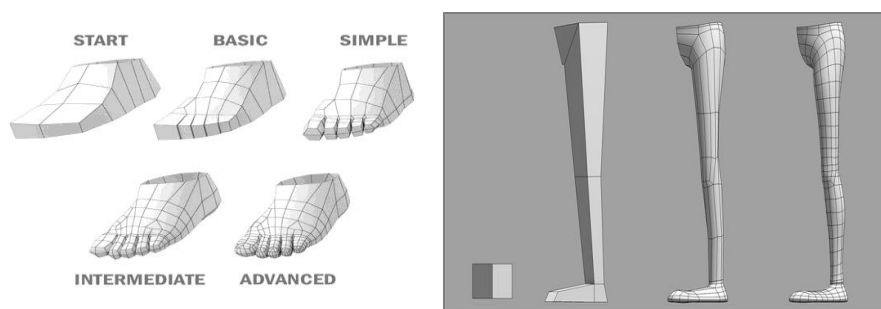


Рисунок 1 – Вариация уровней разбиения полигональной сетки

При использовании модификаторов, что позволяют создавать сложные объекты, получаемый объект будет зависеть от топологии модели. При использовании модификатора, эффект при применении

модификатора будет зависеть от уровня разбиения. Чем на больше частей сетку мы разобьем, тем плавнее будет эффект.

В 3D-моделировании часто используют сплайны в качестве основы для построения более сложных трехмерных тел. Все сплайны состоят из точек и сегментов. Меняя тип точек, можно создавать сглаженные линии. Тут же отображая сплайны при рендере можно указать количество разбиений на сегменты. Чем больше выставляем число разбиений, тем плавнее мы добиваемся результата при рендере.

Напомним, про определения фрактала. У этого понятия нет строгого определения, но в основе фракталов лежит очень простая идея: бесконечное по красоте и разнообразию множество фигур можно получить из относительно простых конструкций при помощи всего двух операций – копирования и масштабирования.

Можно сказать, что фракталы – это способ легкого и удобного представления сложных неевклидовых объектов, образы которых похожи на природные. Одним из таких образов можно реализовать через скрипт для построения дерева Пифагора.

В листинге 1 представлен скрипт построения фрактального дерева в 3Ds-max. Алгоритм состоит из построение вертикального отрезка, рекурсивного построения из верхнего конца этого отрезка еще двух под определенными углами и вызывания функцию построения двух последующих отрезков для каждой ветви дерева.

```
/* Основной код скрипта */
s="ff"
s1=gens s "ff-[-f+f+f]+[+f-f-f]&[f]^" 2
CreateFrac s1 0 90 10
/* Функция замены символов */
fn gens str s n=(
  str1=copy str
  count=0;
  for j=1 to n do (
    for i=1 to str.count do (
      count+=1
      if str[i]=="f" then (
        str1=replace str1 count 1 s
        count+=s.count-1 ) )
    str = copy str1
    count=0; )
  return str1
)
/* Генерация фрактала */
fn CreateFrac str fi theta a= ( ...
for i=1 to str.count do (
  if str[i]=="f" then (
    ss=SplineShape pos:[X,Y,Z]
```

```

s11 = AddNewSpline ss
addKnot ss 1 #corner #curve [X,Y,Z]
X+=a*(cos theta)*(cos fi)
Y+=a*(cos theta)*(sin fi)
Z+=a*(sin theta)
addKnot ss 1 #corner #curve [X,Y,Z]
updateshape ss
count+=1
) ...

```

Листинг 1 – Скрипт построения фрактального дерева

Поскольку в основе фрактального дерева лежит стандартная кривая Безье, то и топология результирующего объекта подчиняется ее параметрам. Эти параметры можно регулировать непосредственно из скрипта. Преобразовывая прямые линии в Безье, для плавной детализации модели, требуется указать количество разбиений на сегменты. Пример представлен на рис. 2.

Как и в предыдущих случаях, чем больше мы укажем число разбиений, тем плавнее будет модель. Также можно реализовать задание типов узлов и совместно с количеством сегментов управлять нужным уровнем детализации

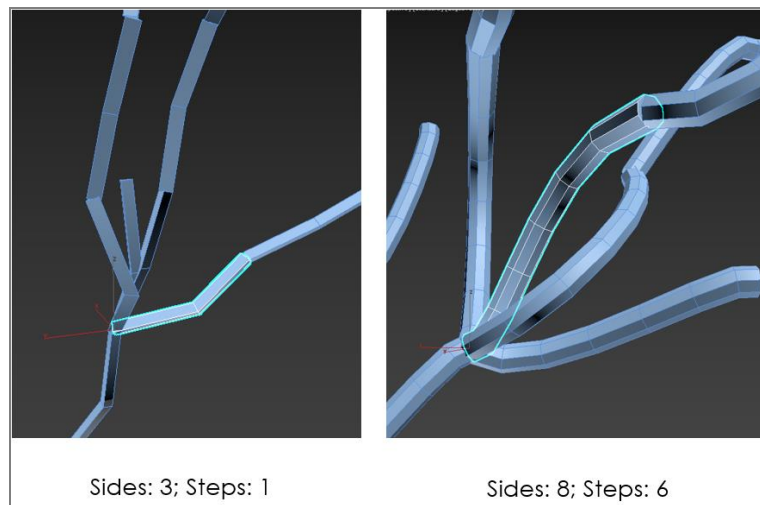


Рисунок 2 – Применение топологии к кривой Безье

Можно реализовать построение дерева и другим способом. Для этого скрипт будет содержать функцию с передаваемыми параметрами высоты и процент разветвления дерева, выбора родителя для каждого последующего элемента дерева. При этом есть возможность непосредственно в скрипте указать формы, которые будут включать деревья, задавать их свойства и применять модификаторы. Т.е. с помощью скрипта можно управлять всеми необходимыми параметрами результирующих объектов, независимо от их форм и типа (геометрические формы или плоские кривые), что особенно важно для построе-

ния 3d-моделей с заданным уровнем детализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы компьютерной графики: 3D-моделирование и 3D-печать. Лисяк В.В., 2021.
2. Разработка трехмерных (3D) моделей в Autodesk 3ds max 7 + CD. Стивен Тилл, Джеймс О'Коннелл, 2006.
3. Геометрическая топология и теория множеств. Чернавский А.В., 2004.
4. Просто Фрактал. 3-е изд., Сергей Деменок, 2016.

УДК 004.4

А.Н. Щербакова, ассист.;
Д.М. Романенко, канд. техн. наук, зав. кафедрой ИиВД
(БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОДИРОВАНИЯ ШТРИХОВЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Принцип штрихового кодирования – кодирование алфавитно-цифровых символов в виде чередования черных и светлых полос различной ширины (штрихов и пробелов).

Для воспроизведения защитных изображений было рекомендовано применение толщины штрихов не менее 40 мкм. Выделяющая способность на стандартной офсетной бумаге для лазерных и струйных принтеров составляет порядка 100 мкм. Итоговый размер штриха будет определяться разрешением изображения и частотой линий. Чем выше частота линий и ниже разрешение экрана, тем меньше итоговый размер штрихов [1].

Далее будет произведен расчет параметров защитного штрихового изображения для лазерных и струйных принтеров и специального оборудования.

Пусть размер холста – 1000x1000 px, размер защитного штрихового изображения – 600x600 px, разрешение изображения – 300 dpi, для лазерных и струйных принтеров толщина базового штриха условно равна 100 мкм, расстояние между штрихами – 100 мкм [1].

Необходимо перевести размер защитного элемента в мм, учитывая разрешение изображения:

$$A(\text{мм}) = \frac{a}{D} \cdot 25,4, \quad (1)$$

где a – ширина защитного элемента, px; D – разрешение изображения, dpi. Таким образом, размер защитного элемента равен 50x50 мм.

Тогда количество линий в 1 см для лазерных и струйных принтеров:

$$\frac{10000_{\text{мкм}}}{2 \cdot 100_{\text{мкм}}} = 50.$$

Следовательно, количество шагов в 5 см равно 250.

Для специального оборудования толщина базового штриха условно равна 40 мкм, расстояние между штрихами – 40 мкм [1].

Тогда количество линий в 1 см для специального оборудования:

$$\frac{10000_{\text{мкм}}}{2 \cdot 40_{\text{мкм}}} = 125.$$

Следовательно, количество шагов в 5 см равно 625.

Генерация векторного защитного штрихового изображения начинается с ввода параметров размера холста, можно выбрать способ задания фона: сплошной цвет, линейный градиент, радиальный градиент, фоновое изображение либо сделать фон прозрачным. При выборе линейного или радиального градиента необходимо задать параметры градиента, а именно цвета и позиции. По умолчанию для градиента используется два цвета, но можно добавить дополнительные. При выборе в качестве фона изображение необходимо ввести ссылку на желаемую картинку.

Основой алгоритма является выбор базового примитива: круг, эллипс, прямоугольник, квадрат, треугольник и линия. Для выбранного примитива необходимо задать начальный и конечный размер. Также в качестве базовой фигуры можно выбрать произвольный примитив, при этом понадобится ввести координаты точек для его построения.

Далее алгоритм предполагает выбор типа обводки. Можно выбрать сплошную или штриховую. При выборе штрихового типа обводки можно выбрать концы линий обводки и настроить штрих.

В качестве параметров геометрических преобразований выступают масштаб, поворот, смещение и толщина обводки. Можно задать по одному параметру либо их комбинацию. По умолчанию в качестве опорной точки выступает центр примитива, но при желании опорную точку можно изменить, введя параметры x и y .

Следующим этапом задается количество шагов. Если данного количество достаточно для формирования защитного изображения, то происходит расчет шага и изменения выбранного примитива на i -ом шаге и вывод полученного изображения на экран. Если же количества шагов оказалось недостаточным, то необходимо изменить данный параметр, при этом произойдет перерасчет значений и вывод нового изображения на экран.

Защитные изображения генерируются, применяя к ним различные преобразования типа поворота, смещения, масштаба и толщины обводки. Алгоритм кодирования штрихового векторного изображения представлен на рис. 1.

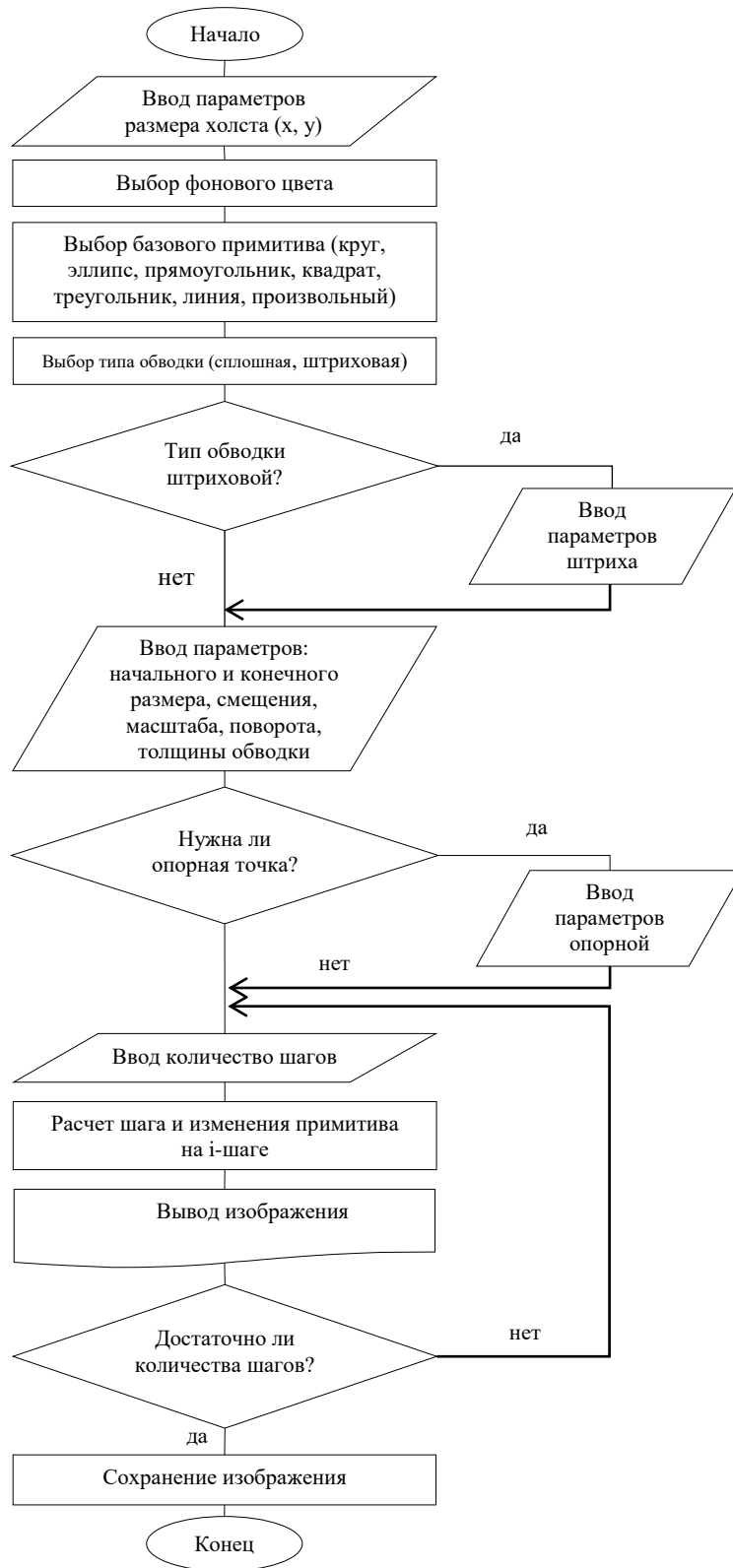


Рисунок 1

Опираясь на разработанный алгоритм, были созданы штриховые векторные изображения. Пример 1 (тип примитива: эллипс, линия: штрихпунктирная) (рисунок 2).

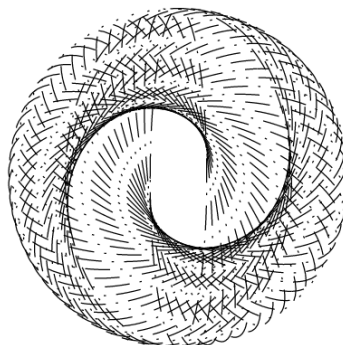


Рисунок 2 – Пример защитного изображения

Пример 2 (тип примитива: прямоугольник, линия: штриховая) (рисунок 3).

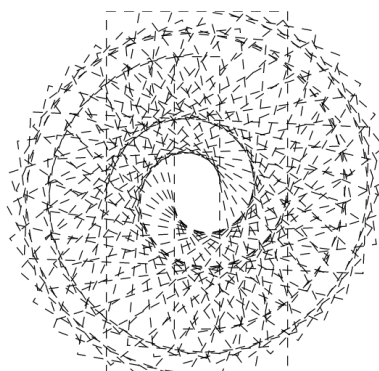


Рисунок 3 – Пример защитного изображения

Для демонстрации работы алгоритма при генерации данных изображений был использован только один параметр геометрических преобразований – поворот, но, используя только один параметр, нельзя достигнуть максимальной сложности изображения, поэтому важно для генерации защитного элемента использовать от двух и более параметров геометрических преобразований.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. А. Novoselskaya. Scale Control and Quality Management of Printed Image Parameters / О. А. Novoselskaya, V. L. Kolesnikov, T. V. Solov'eva, I. V. Nagornova, E. B. Babluyk, O. V. Trapeznikova // Journal of Physics: Conference Series. – Vol. 858. – 2017. – 012022.

КАСТОМИЗАЦИЯ КАК АКТУАЛЬНЫЙ СПОСОБ СОЗДАНИЯ ВЕБ-САЙТА

В процессе разработки веб-сайтов любой сложности всё больше ИТ-компаний используют шаблоны. **Шаблон** – это готовое решение, сверстанные страницы, которые можно сразу наполнять контентом. Шаблоны различаются по сложности, уникальности, сфере применения и цене. Их популярность напрямую связана с однотипностью функционала большинства веб-сайтов. Интернет-магазины, сайты-визитки, блоги, корпоративные сайты имеют сходную структуру и стандартные элементы. Крупным компаниям нерационально и невыгодно тратить время и ресурсы на создание однотипных решений. Использование шаблонов в этом случае имеет ряд преимуществ:

- **Стоимость.** Существует большое количество платных и бесплатных шаблонов под разные типы веб-сайтов, технологии и задачи.

- **Скорость.** Сокращается время на проектирование, верстку и прочие длительные этапы разработки.

- **Использование проверенного решения.** У заказчика есть возможность оценить, как посетители восприняли подобный сайт, собрать статистику по ресурсам, которые уже используют это решение.

Наряду с преимуществами у шаблонов есть ряд недостатков:

- **Дублирование.** Доступность готовых решений увеличивает количество идентичных веб-сайтов, у которых изменены только текст, логотип и несколько изображений.

- **Сложность продвижения.** Попасть на первые строки выдачи в поисковых системах с неуникальной версткой очень сложно. Поисковые алгоритмы анализируют не только наполнение сайта, но и код. Веб-сайты с похожей версткой хуже воспринимаются алгоритмами, что отрицательно сказывается на их продвижении.

- **Ограничения.** Ряд шаблонов вводят запреты на изменения в верстке и структуре сайтов. Некоторые платные шаблоны включают в себя поддержку, что также ограничивает степень изменения шаблона.

- **Невозможность внедрить фирменный стиль.** При использовании чистого шаблона клиент довольствуется тем дизайном, что есть в шаблоне [1].

Большинство этих минусов характерны для ситуаций, когда заказчик использует шаблон самостоятельно или с привлечением не-

большого числа технических специалистов без глубоких знаний веб-разработки.

Чтобы не терять преимуществ шаблонов, но уменьшить недостатки, необходимо кастомизировать сайт под конкретную задачу. **Кастомизация** – это изменение страниц и функционала готового шаблона веб-сайта согласно требованиям заказчика. При работе с готовым шаблоном у дизайнера есть ряд заготовленных элементов, которые уже сверстаны, адаптивны и оптимизированы. Проанализировав цели и задачи компании, дизайнер подбирает те части шаблона, что наиболее точно подходят для представления той или иной информации. Меняя порядок и количество этих блоков, а также внося небольшие изменения в их внешний вид повышается уникальность как дизайна, так и кода страниц в целом. Дизайнер может добавить новые элементы, разработка которых потребует намного меньше времени и сил, чем создания сайта с нуля. В процессе работы могут возникнуть ситуации, когда выбранный шаблон запрещает его изменения или ограничивает их. В таком случае веб-студия может создать свой авторский шаблон и использовать его в большинстве своих проектов или выкупить наиболее приемлемый шаблон со всеми правами. Для крупной студии, которая будет использовать его большое количество раз, это выгоднее, чем для одного заказчика.

Значительная проблема использованием шаблона связана с особенностями продвижения готового веб-сайта. В этом случае необходимо придерживаться ряда правил:

- Изменить название изображений и пути к ним. Поисковые системы не видят изображения, а воспринимают их только через название, путь и описание. Поэтому желательно изменить названия каталогов, изображений и их описаний в атрибутах тегов.

- Изменить названия стилей.

- Заменять похожие теги аналогами.

- Постараться изменить расположение тегов, удалить не нужные элементы или заменить их на более подходящие.

- Изменить дизайн сайта. Изменение фоновых изображений, иконок, цветов и прочих элементов существенно повышает уникальность сайта при анализе поисковыми системами [2].

Эти специфические требования для шаблонных решений не отменяют базовые приёмы SEO-оптимизации сайтов.

В настоящее время кастомизированные шаблоны используются в ИТ-компаниях как основа для работы. При разработке крупных и сложных сайтов большинство веб-студий пользуются различными системами управления контентом (CMS). Для большинства подобных

систем существуют специализированные шаблоны, которые тоже нуждаются в кастомизации. Самой популярной CMS на протяжении последних лет считается WordPress (более 65%). Она обеспечивает высокую доступность готовых шаблонов и многочисленных плагинов, расширяющих возможности системы. В число популярных систем входят Shopify (6,2%), Joomla (2,9%), Drupal (2,1%), 1С-Битрикс (1,5%). Отдельную нишу в этом сегменте занимают платные онлайн-конструкторы сайтов: Wix (2,7%), Squarespace (2,6%), Tilda (0,5%) [3].

Для определения востребованности шаблонов на рынке были проанализированы несколько популярных сайтов, которые предоставляют платные и бесплатные шаблоны под различные платформы и задачи.

Веб-сайт TemplateMonster предоставляет 18217 платных шаблонов для сайта и 1717 бесплатных. База шаблонов регулярно обновляется. Было проанализировано какое количество шаблонов сколько раз было скачено [4]. Из полученных данных видно, что у большинства шаблонов количество скачиваний не превышает 19000 у платных и 15000 у бесплатных, что отражено в таблице. Достаточно малый процент шаблонов скачивают более 1000 раз. Этот факт доказывает, что даже используя шаблоны заказчик стремится к авторскому варианту.

Таблица – Зависимость количества шаблонов, представленных на сайте TemplateMonster от количества их скачиваний

Кол-во скачиваний	Платные шаблоны	Бесплатные шаблоны
0 – 500	18 158	1413
501 – 1 000	44	50
1 001 – 5 000	14	149
5 001 – 10 000	0	50
10 001 – 20 000	1	38
20 001 – 50 000	0	14

Проанализировав категории бесплатных и платных шаблонов на сайте можно заметить, что большинство вариантов ориентировано на WordPress и HTML5. Для других популярных CMS в основном представлены платные решения (рис. 1). На сайте платных шаблонов LandiStore представлено 66 заготовок сайтов на Bootstrap и 21 для WordPress. Популярные конструкторы Wix и Tilda предоставляют более 150 различных шаблонов.

На основании этого можно сделать вывод, что шаблоны пользуются спросом при разработке веб-сайтов. Популярны как стандартные шаблоны страниц (файлы .html, .css, .js), так и более сложные решения, предназначенные для CMS. В связи с этим роль кастомизации при разработке сайта существенно возрастает.

Сейчас кастомизация не только востребована, но и наиболее удобна для неопытных специалистов. При создании сайта подобный сотрудник долго и не всегда рационально находит решения для поставленных задач. Часто сайты, созданные молодыми специалистами, трудно переносятся на хостинг, могут иметь проблемы с расширением и доработкой. Используя готовое решение, программист учится: правильно размещать и именовать файлы сайта, разбираться в чужом коде и безболезненно его изменять, работать с большим количеством страниц, выделять типовые части шаблона и др.

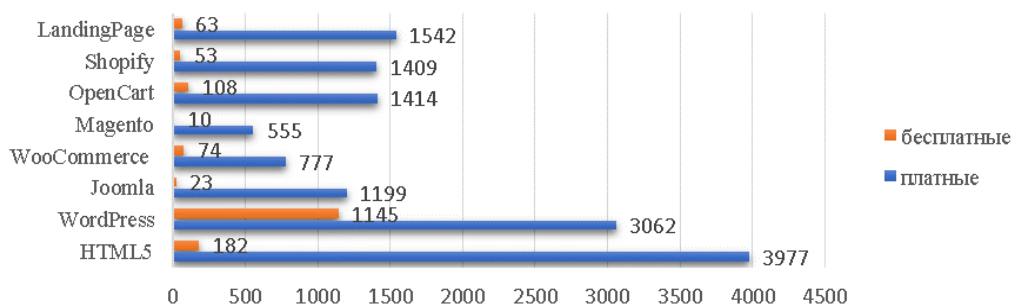


Рисунок 1 – Статистика количества шаблонов под разные категории на сайте TemplateMonster

Кастомизация является значимой частью современной веб-разработки. Она применяется как для изменения небольших статичных сайтов, так и в сложных динамичных сайтах, основанных на CMS. Использование шаблонного решения, адаптированного и изменённого под задачи проекта, позволяет быстро и недорого создать полноценный веб-сайт с индивидуальным дизайном и контентом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаблонный дизайн VS Уникальный дизайн сайта [Электронный ресурс]. / web112 – Режим доступа: <https://web112.biz/news/7067-shablonniy-dizayn-vs-ynikalniy-dizayn-sayta/> – Дата доступа: 05.02.2022 г.
2. Для чего нужна кастомизация сайта [Электронный ресурс]/ JooMix – Режим доступа: <https://joomix.org/stati/1252-dlya-chegonuzhna-kastomizatsiya-sajta> – Дата доступа: 10.01.2022 г.
3. Самые популярные CMS 2021 года [Электронный ресурс] / DENISOV – Режим доступа: <https://sdvv.ru/articles/testovyy-razdel/samye-populyarnye-cms-2021-goda/> – Дата доступа: 11.02.2022 г.
4. Шаблоны сайтов [Электронный ресурс] / TemplateMonster – Режим доступа: <https://www.templatemonster.com/ru/website-templates/> – Дата доступа: 14.02.2022 г.

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ВЫБОРА
КОМБИНАЦИЙ ГИПЕРПАРАМЕТРОВ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ УЗКОСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ
БАНКОВСКИХ ЗАДАЧ**

Бурное развитие отрасли информационных технологий, которое наблюдается в современном мире, пожалуй, не имеет аналогов в истории развития человечества. В итоге изменений коснулись все сферы жизни людей. В “Стратегии развития отрасли информационных технологий” отмечено: “Масштаб влияния отрасли информационных технологий на государство значительно превосходит сугубо отраслевые эффекты. Развитие информационных технологий является одним из важнейших факторов, способствующих решению ключевых задач государственной политики Российской Федерации” [1].

Информация сейчас – это одна из самых важных и дорогих сущностей мира. А информационные системы, технологии, процессы, средства и инструменты уже сейчас являются одним из самых определяющих факторов достижения подходов, реализующих инновации, повышающие результативность и эффективность решений, которые необходимо принимать во множестве сфер деятельности - научной, организационной, финансовой, управленческой и многих других.

Бурное развитие сферы ИТ тесно связано с оцифровкой всего наблюдаемого в реальной жизни – всех предметов, явлений, процессов и взаимосвязей между ними. Там, где раньше использовался ручной труд, теперь работают машины и алгоритмы, и с каждым днем все эффективнее.

Важное направление ИТ-отрасли – это автоматизация бизнеса, всех учетных процессов и данных. Это представляет особую коммерческую ценность для автоматизируемых организаций. Там, где раньше информационные технологии были «роскошью» и давали конкурентное преимущество – теперь они являются уже практически жизненной необходимостью.

Важную часть целей автоматизации процессов, например, в банковской сфере, с помощью информационных технологий составляет анализ поведения людей, определение их положительного отношения к организации и выявление нетипичных действий, которые нехарактерны в целом для человека. Вследствие этих особенностей данные вопросы наиболее актуальны в практической плоскости, для конкретного применения в коммерческих предприятиях, банках и т.д.

На сегодняшний день в мире бизнеса, особенно связанного с финансами, активно обсуждается проблема оттока клиентов. Главным показателем в данных процессах является Churn Rate – количество покупателей, прекративших взаимодействие с компанией, относительно числа покупателей, приобретавших в этот период [2]. При этом важным с точки зрения сохранения клиента является установление периода времени, при неактивности клиента, по истечении которого его следует считать утерянным. Очень важно правильно выбрать этот показатель, чтобы избежать неточностей в оценивании оттока. Период измерения оттока должен отражать особенности бизнеса – влияние сезонности, стадии продукта и т. д. Отток за период – важная статистическая метрика, но для постоянного анализа лучше использовать измерение его за период.

С проблемой оттока сталкивается сейчас практически каждая организация. Основная масса денежных средств компании формируется из платежей покупателей, и поэтому клиенты и взаимодействие с ними являются наиболее важными приоритетами для организации. Данная проблема связана с уменьшением клиентской базы и, как следствие, уменьшением выручки. Это очень ощутимо для тех компаний, чья модель монетизации носит подписной и транзакционный характер. Не менее важен при этом фактор стоимости привлечения клиентов – это может обойтись в несколько раз затратнее, чем удерживание уже имеющихся. Этот коэффициент может достигать уровня от 8 до 16 – то есть, чтобы новый клиент стал настолько же лояльным, как старый и узнал столько же о вашем продукте и вашей компании (равно как и вам узнать о нем столько же, сколько знаете о старом клиенте) может понадобиться во столько раз больше денег [3]. Уровень дохода бизнеса напрямую зависит от того, насколько хорошо происходит удержание клиентов. По отчету Гарвардской школы бизнеса увеличение коэффициента удержания всего на 5% может позволить увеличить прибыль на 25-95% [3]. По данным практики, не более 20% организаций создают стратегии по удержанию, а более 80% – фокусируются на привлечении новых.

Поэтому рассматриваемые в рамках данной работы задачи анализа или даже «предсказания» поведения клиента являются важными и актуальными, и могут решаться с помощью нескольких подходов с применением нейронных сетей.

Один из них состоит в использовании стандартной наиболее часто используемой библиотеки машинного обучения, которая наиболее часто применяется на практике. Другой выражает более полное и тщательное исследование данных, закономерностей и взаимосвязей, поиск оптимальных гиперпараметров, лучшую оценку качества и обоснование принятого вывода.

Нужно отметить, что модель машинного обучения имеет несколько параметров, которые не обучаются обучающей выборкой. Эти параметры контролируют точность модели. Их обычно называют гиперпараметрами, настраиваются они заранее и предоставляются вызывающим объектом модели до ее обучения.

Самый простой способ найти хорошую комбинацию гиперпараметров – перебор всех доступных комбинаций. Интуитивно можно создать список возможных значений для каждого гиперпараметра. Затем обучить модель каждой комбинации. Ну и наконец, в завершении оценить каждую комбинацию на протяженном тестовом наборе и сравнить их характеристики, чтобы определить лучшую.

Однако такой метод требует больших вычислительных ресурсов. Предположим, обучение данной модели занимает 3 часа и имеет 2 гиперпараметра. Если протестировать 5 возможных значений для каждого из них, поиск по сетке займет $(5^2) \cdot 3 = 75$ часов, чтобы оценить все комбинации.

Если модель быстро обучается, имеет мало гиперпараметров или доступны большие вычислительные мощности, то поиск по сетке – это простое в реализации решение. К сожалению, на практике такое случается достаточно редко.

Если нет такого количества времени или вычислительных ресурсов, альтернативой является случайный поиск. Вместо того, чтобы полностью проверять комбинации в сетке, случайный поиск заключается в выборке случайных значений в пространстве гиперпараметров. Хотя он уравнивает вычислительные затраты на поиск по сетке, этот подход неэффективен в том, как он исследует возможные комбинации гиперпараметров. Действительно, алгоритм не учится на ранее проверенных комбинациях.

Взаимным недостатком обоих этих подходов является то, что метод теряет эффективность, если параметры воздействия не известны заранее. Так бывает во многих условиях. С помощью поиска по сетке можно протестировать множество эквивалентных комбинаций, что приведет к потере вычислительных ресурсов и времени.

И так, в рамках представленной работы на основе описанных методов была решена практическая задача – «предсказания» оттока клиентов банка. Примененная на практике методика решения была следующей: в качестве входных данных использовался набор данных со следующими полями: УНП, название организации, дата открытия и закрытия счета, текущий статус, адрес, вид деятельности, причина закрытия, наличия счета в другом банке и иные. Перед началом работы набор данных был подготовлен, а именно проверены на корректность и наличие информации во всех ячейках датасета. Далее удалены неинформативные колонки и сохранены идентификаторы категориаль-

ных колонок в отдельный список. После этого датасет разделен на две части – первая часть предназначалась для обучения нейронной сети, вторая же часть для апробации.

Применив стандартную модель классификации, был получен результат корректности предсказания оттока клиентов банка, равный 64,52%. За счет применения разработанного алгоритма подбора гиперпараметров, а именно использования метода кросс-валидации и стратификации со случайным распределением был получен результат корректности предсказания оттока клиентов банка, равный 74%. Таким образом, модель на базе предложенного подхода решения задачи прогнозирования оттока клиентов, основанная на использовании нейронной сети с предварительным определением гиперпараметров, показала лучший результат, чем классический вариант решения подобных задач, применяемый на практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный ресурс, http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_154161/, Распоряжение Правительства РФ от 01.11.2013 N 2036-р (ред. от 18.10.2018) “Об утверждении Стратегии развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014 - 2020 годы и на перспективу до 2025 года”.

2. Электронный ресурс, <https://www.calltouch.ru/glossary/churn-rate>, “Churn rate”.

3. Электронный ресурс, <https://vc.ru/marketing/156703-12-sposobov-nemedlenno-ostanovit-ottok-klientov>, “12 способов немедленно остановить отток клиентов”.

УДК 003.26

Я. Ласык¹, ассист.; Д.М. Романенко², доц., канд. техн. наук
П.П. Урбанович², проф., д-р техн. наук

¹(Люблинский Католический университет, Польша), ²(БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕВЫХ ПРОТОКОЛОВ И СТЕГАНОГРАФИИ ДЛЯ ТАЙНОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

В последнее время наблюдается новый и опасный тренд: все больше разработчиков вредоносного ПО и средств кибершпионажа прибегают к использованию стеганографии.

Современные методы компьютерной стеганографии условно можно поделить на 2 класса:

1) методы сокрытия информации в контенте, а также в альтернативных потоках данных (Alternate Data Streams, ADS) файловой си-

стемы NTFS;

2) методы сокрытия информации в структуре сетевых протоколов.

Сетевое взаимодействие является ключевым элементом функционирования любой вредоносной программы, а также тайно передаваемой информации [1–2].

Этому способствуют три главные причины, связанные со стеганографией [3]:

1) стеганография позволяет скрыть сам факт загрузки/выгрузки данных, а не только сами данные;

2) стеганография помогает обойти DPI-системы, что актуально в корпоративных сетях; система DPI (Deep Packet Inspection – глубокая проверка пакетов), как видно из названия, выполняет глубокий анализ всех проходящих через нее пакетов. Термин «глубокий» подразумевает анализ пакета на верхних уровнях модели OSI, а не только по стандартным номерам портов. Помимо изучения пакетов по стандартным паттернам, по которым можно однозначно определить принадлежность пакета определенному приложению (по формату заголовков, номерам портов и т. п.), система DPI осуществляет и так называемый поведенческий анализ трафика, который позволяет распознать приложения, не использующие для обмена данными заранее известные заголовки и структуры данных. популярными становятся интегрированные в маршрутизаторы решения DPI;

3) использование стеганографии может позволить обойти проверку в AntiAPT-продуктах, поскольку последние не могут обрабатывать все графические файлы (их слишком много в корпоративных сетях, а алгоритмы анализа довольно дорогие).

Тайная и трудно обнаруживаемая (как факт) передача информации, основанная на стеганографическом преобразовании (модуляции) элементов и структур сетевых протоколов все чаще применяется там, где появляются запреты или ограничения на легальное использование Интернета.

Скрытые каналы в протоколах компьютерных сетей аналогичны методам сокрытия информации в звуковом, визуальном или текстовом контенте. В то время как классическая стеганография требует какой-либо формы контента в качестве прикрытия, скрытые каналы требуют некоторого сетевого протокола в качестве носителя скрытой информации, передаваемой от одного абонента к другому.

Можно определить различные модели скрытого сетевого взаимодействия двух абонентов (*A* и *B*) в зависимости от того, являются ли *A* и *B* отправителем и получателем открытого канала (Overt Sender

и Overt Receiver) или же они действуют как посредники (C) и манипулируют открытым каналом между ничего не подозревающими пользователями. Рассмотрим особенности такого взаимодействия, основываясь на известной модели Симмонса [4].

Если отправитель (A) скрытого канала также является отправителем открытого канала, он может манипулировать открытым каналом по желанию (например, чтобы максимизировать пропускную способность скрытого канала или его скрытность). Однако иногда скрытый отправитель может быть не в состоянии создать открытый канал или может не делать этого для большей скрытности. В этом случае отправитель может выступать в качестве посредника, встраивая скрытый канал в существующий открытый канал. Очевидно, что тогда скрытый отправитель не имеет контроля над открытым каналом, и максимальная пропускная способность скрытого канала зависит от существующего открытого канала.

Скрытый получатель (B) может быть получателем открытого канала, но для повышения скрытности получатель также может быть посредником (C), извлекающим скрытую информацию из открытого сообщения, предназначенного для невинного получателя. Затем скрытый приемник должен (если возможно) удалить скрытый канал, предотвращая возможное обнаружение приемником или любыми другими промежуточными узлами.

На рис. 1 показаны возможные комбинации скрытых местоположений отправителя и получателя. Фактический сценарий связи зависит от применения скрытого канала.

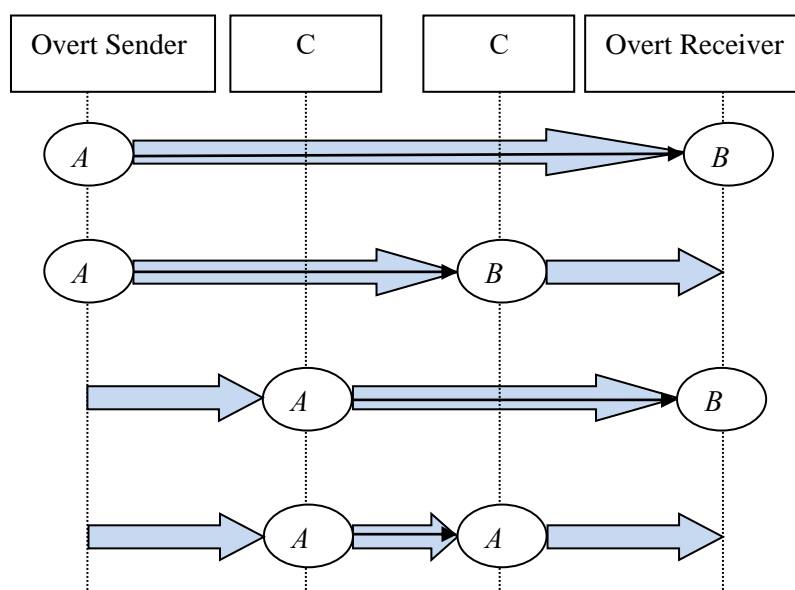


Рисунок 1 – Модели взаимодействия абонентов на основе скрытых сетевых каналов

Если скрытый канал используется для обхода цензуры, скрытые и явные отправитель/получатель, вероятно, будут идентичными. Если же канал используется хакером для внешней фильтрации данных, скрытые отправитель и получатель, вероятно, будут посредниками (например, отправитель может находиться внутри стека сетевых протоколов скомпрометированной машины, а получатель может находиться на маршрутизаторе, близком к краю скомпрометированной сети).

Традиционно (см., например, [3, 5]) скрытые каналы подразделяются (хотя принципиального различия между ними нет) на

- 1) каналы памяти (скрытые каналы памяти) и
- 2) каналы времени (скрытые каналы времени).

Каналы памяти (Storage Channel) предполагают прямую/косвенную запись значения объекта (осаждение тайной информации) отправителем и прямое/косвенное считывание значений объекта (извлечение тайной информации) получателем. Обычно имеется в виду, что у процессов с разными уровнями безопасности имеется доступ к некоторому ресурсу (например, к некоторым секторам диска).

Скрытые каналы рассматриваемого типа могут быть закодированы в неиспользуемых или зарезервированных битах заголовков кадров или пакетов. Это особенно проблематично, если стандарты протоколов не требуют конкретных значений или получатели не проверяют стандартные значения. На этой основе могут создаваться следующие типы скрытых каналов:

- неиспользуемые биты поля *Типа обслуживания* (Type of Service, ToS);
- *Заголовков IP*;
- поля *Флагов заголовка TCP*;
- бит *Don't Fragment* (DF) заголовка IP; бит DF можно присвоить произвольное значение, если отправителю известен размер Максимальной единицы передачи (Maximum Transfer Unit, MTU) пути к получателю, и он отправляет только пакеты размером меньше MTU;
- поле *Указателя важности* (TCP Urgent Pointer, применяется для указания данных с высоким приоритетом) – 16-битное поле, которое принимается во внимание только для пакетов с установленным флагом URG;
- сегмент *Флага сброса соединения* (TCP Reset – сегменты TCP с установленным флагом RST обрывают соединение и обычно не содержат данных) и др.

Временные каналы (Timing Channels) включают сигнальную

информацию отправителя, модулируя (осаждая тайную информацию) использование ресурсов (например, использование ЦП) с течением времени таким образом, чтобы получатель мог наблюдать за этим и декодировать (извлекать) информацию. К наиболее известным методам создания таких каналов можно отнести использование поля *Время жизни* (Time-to-Live, TTL). В IPv4 TTL представляет собой восьмиразрядное поле IP-заголовка, которое определяет максимальное количество *хопов* (hop – прыжок, участок между маршрутизаторами), которые пакет может пройти. Наличие этого параметра не позволяет пакету бесконечно ходить по сети. Каждый маршрутизатор при маршрутизации должен уменьшать значение TTL на единицу, но некоторые шлюзы можно настроить, чтобы игнорировать это. Пакеты, не достигшие адресата, но *время жизни* которых стало равно нулю, уничтожаются, а отправителю посылается сообщение *ICMP Time Exceeded*. Если требуется, чтобы пакет не был маршрутизирован, т. е. был принят только в своем сегменте, то выставляется TTL=1. На отправке пакетов с разным временем жизни основана трассировка их пути прохождения (Traceroute). Максимальное значение TTL=255. Обычное начальное значение TTL=64 (Linux, Mac, Android, iOS), TTL=128 (Windows).

Проанализированные подходы предполагают использование только одного сетевого протокола из стека TCP/IP для создания тайного канала. Модификация протокола может быть применена либо к PDU (Protocol Data Unit), либо к временным отношениям между обмениваемыми PDU, либо одновременно к обоим из указанных параметров. Этот вид сетевой стеганографии можно назвать внутрипrotocolной стеганографией.

Задача обнаружения скрытых каналов на основе сетевой стеганографии состоит в том, чтобы найти потенциальные скрытые каналы, которые могут быть реализованы в сети. Второй шаг – анализ выявленных каналов для оценки уровня угрозы каждого из них.

Скрытые каналы могут создаваться и использоваться не только злоумышленниками. Эти каналы могут использоваться для передачи данных аутентификации. Сетевые администраторы могут использовать скрытые каналы для защиты связи, управления сетью, скрывая эту информацию от хакеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урбанович, П.П. Киберпространство: тренды, угрозы и безопасность / П.П. Урбанович // Интеграция и развитие научно-технического и образовательного сотрудничества – взгляд в будущее:

сборник статей II Междунар. научно-техн. конф. "Минские научные чтения – 2019", Минск, 11-12 декабря 2019 г.: в 3 т. Т. 3. – Минск: БГТУ, 2020. – С. 180–185.

2. Ochrona informacji w sieciach komputerowych / pod red. prof. P. Urbanowicza. – Lublin : Wydawnictwo KUL, 2004. – 150 p.

3. Zander, S. Covert channels and countermeasures in computer network protocols / S. Zander, G. Armitage, P. Branch // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2007. – № 9(3). – P. 44-56.

4. Simmons, G.J. The Prisoners' Problem and the Subliminal Channel / G. J. Simmons. – Proc. Advances in Cryptology (CRYPTO). – 1983. – P. 51–67.

5. National Computer Security Center, US DoD, Trusted Computer System Evaluation Criteria, Tech. Rep. DOD 5200.28- STD, National Computer Security Center, Dec., 1985.

УДК 004.056

О.Л. Сапун, доц., канд. пед. наук; А.С. Гончар, маг.
(БГАТУ, г. Минск)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕЖСЕТЕВОГО ЭКРАНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Большинство предприятий сталкиваются с проблемами в компьютерных системах и утечки важной информации. Не являются исключением и предприятия агропромышленного комплекса. Существует множество программ или программно-аппаратных систем, позволяющих минимизировать данные проблемы.

Межсетевой экран (firewall, МЭ) – программная или программно-аппаратная система, обладающая искусственным интеллектом, которая выполняет контроль информационных потоков, поступающих в информационную систему и/или выходящих из нее, и обеспечивающая защиту информационной системы посредством фильтрации информации [1].

МЭ выступает сегодня как наиболее действенное средство управления безопасностью. При многократно возросшем трафике данных очень важно, чтобы никакой вредоносный объект не проник в сеть организации. Проверки данных нужно проводить регулярно для поддержания системы, также необходимо проводить регулярно проверки антивирусами для обеспечения защиты операционной системы на виртуальном сервере и мониторинг безопасности сети.

Целью системы защиты на основе МЭ является своевременное реагирование на попытки доступа к ресурсам сети, выявлении попыток НСД и запись в журнал событий о произошедшем инциденте.

Применение межсетевого экрана иногда является причиной падения производительности сети. Они перехватывают весь входящий трафик сети для проверки и могут работать медленно.

Произведем сравнительный анализ и выбор средств межсетевого экранирования, с подходящими характеристиками, для внедрения на предприятии АПК. Объектом исследования выберем ОАО «Птицефабрика «Рассвет».

Система защиты периметра состоит из следующих основополагающих компонентов: персонал (сотрудники, студенты); программное обеспечение; аппаратное обеспечение; технологии взаимодействия.

В результате выбора среди продуктов от каждой фирмы можно выделить продукты D-link DFL-260, IBM Proventia Network IPS и Cisco 1801/K9. Стоит отметить, что в выборе ключевым показателем выступает цена программного продукта для расчета экономической эффективности. Результаты сравнительного анализа трех вариантов средств межсетевого экранирования по основным характеристикам приведены в таблице.

Таблица – Результаты сравнительного анализа средств межсетевого экранирования

Характеристика	D-link DFL-260	IBM Proventia IPS	Cisco 1801/K9
1	2	3	4
Класс отказоустойчивости	1 класс	нет	1 класс
Контроль на прикладном уровне с учетом состояния	Нет	Да	Да
Контроль прикладного протокола	Да	Да	Да
Прозрачная аутентификация Windows	Да	Да	Да
Пропускная способность	80Mbps	10Mbps	100Mbps
Wi-Fi	Нет	Нет	Да
Протоколирование всех имен пользователей и приложений Web и Winsock	Да	Да	Нет
Поддержка Exchange	Да	Да	Да
Демилитаризованная зона	Да	Да	Нет
Контроль шлюзового и клиентского трафика VPN на прикладном уровне	Нет	Да	Да
Обнаружение и предотвращение несанкционированного доступа	Да	Да	Да

Продолжение таблицы

1	2	3	4
Сервер удаленного доступа VPN и шлюз VPN	Да	Да	Да
VPN-клиент	Да	Да	Да
100-Мбит/с порты ЛВС	4	8	8
Число одновременных подключений	12000	10000	18000
Передача функций отказавшего МЭ исправному устройству	Нет	Нет	Да
Переключение Интернет-провайдера и объединение полосы пропускания	Нет	Да	Нет
Конфигурирование Web-интерфейс	Да	Да	Да
Web-кэширование и проху	Да	Нет	Да
Цена	750 руб.	5110 руб.	1230 руб.

Как видно из таблицы, высокая цена продукта компании IBM обоснована высоким качеством, пропускной способностью. В данном случае рассматривается мало пропускаемая, т.е. самая дешёвая – 10 Mbps и функциональной полнотой их продуктов. Однако наилучшим продуктом в соотношении цена и качество является продукт компании D-link, который оптимизирован для работы в сетях различной архитектуры [2].

В качестве примера возьмем средство защиты МЭ D-link DFL-260. Данное устройство является лучшим в соотношении цена/качество, продукт оптимизирован для работы в сетях различной архитектуры, что является положительным фактором в широте использования данного продукта для ХС с классической архитектурой.

Однако, если организация действительно большая и информация, которая в ней циркулирует в защищаемой сети является жизненно важной для самой организации и ее цена достаточно высока, можно обратиться к продукту IBM Proventia Network IPS, основываясь на его качестве и защищаемых способностях, но его высокая цена не позволяет рекомендовать его широкому кругу компаний.

Затраты на организацию системы защиты складываются из:

- стоимости программно-аппаратных частей системы;
- затрат на обучение и выплату зарплат сотрудникам;
- затрат на поддержание системы.

Для расчета затрат на организацию системы защиты на основе использования МЭ необходимо воспользоваться методикой расчета совокупной стоимости владения, т.е. суммы прямых и косвенных затрат, которые несет владелец системы за период ее жизненного цикла.

Совокупная стоимость владения в общем виде представляется в виде следующей формулы:

- совокупная стоимость владения системой защиты;
- стоимость программно-аппаратных средств;
- кадровые издержки (оплата труда, плата за обучение, премии, штрафы);
- затраты на техническую поддержку.

Совокупная стоимость владения МЭ в общем виде представляется в следующем виде: совокупная стоимость владения системой защиты; стоимость программно-аппаратных средств; кадровые издержки (оплата труда, плата за обучение, премии, штрафы); затраты на техническую поддержку.

После проведенного расчета экономической эффективности на примере ОАО «Птицефабрика «Рассвет», рост производительности труда на рабочем месте работников за счет внедрения МЭ составит 39,58%. Срок окупаемости капитальных затрат на организацию системы информационной безопасности составит 0,76 года (9 месяцев).

Поскольку предполагаемый срок окупаемости составляет не более 5 лет (максимальный срок окупаемости капитальных вложений в рыночных условиях), внедрение системы межсетевое экранирования будет экономически выгодным [3].

Таким образом, внедрение системы межсетевое экранирования в запланированные сроки позволит предприятию выполнить поставленные задачи, снизить информационные риски, повысить эффективность деятельности ОАО «Птицефабрика Рассвет». Но межсетевые экраны не решают всех вопросов информационной безопасности корпоративных сетей. Отсюда следует, что технологии МЭ следует применять комплексно с другими технологиями и средствами защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорофеев, А.В. Подготовка к CISSP: телекоммуникации и сетевая безопасность / А.В. Дорофеев – Москва: Вопросы кибербезопасности, 2016. – 69–74 с.
2. Шаго Ф.Н., Методика оптимизации планирования аудита системы менеджмента информационной безопасности / Ф. Н. Шаго, И.В. Зикратов – Ростов-на-Дону: Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2014. – 111–117 с.
3. Старков Д.И. Автоматизированное построение правил фильтрации межсетевых экранов на основе списка разрешенных сетевых служб // Решетневские чтения. – 2018. – № 22. – Том 2. – С. 348-349.

Т.Б. Карлович, доц., канд. физ.-мат. наук;
 А.Б. Сухоцкий, доц., канд. техн. наук;
 Е.С. Данильчик, ассист. (БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА ФОРМИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНЫХ ВАЛОВ В ПЛОСКОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ СЛОЕ, ПОДОГРЕВАЕМОМ СНИЗУ

Интенсификация естественной конвекции в теплообменных процессах технологических установок является актуальной задачей в энергетической отрасли и других отраслях промышленности. Так, например, при транспортировке сжатого природного газа по трубопроводу для его охлаждения используются аппараты воздушного охлаждения. Если естественная конвекция является недостаточной для охлаждения, используется принудительная вентиляция, сопровождающаяся затратами на электрическую энергию. Процесс естественной конвекции также можно интенсифицировать, используя вытяжную шахту в аппаратах воздушного охлаждения. При экспериментальном исследовании течения воздуха в шахте, имеющей в основании прямоугольник размером 38×31 см и высоту $H=52$ см и установленной над четырехрядным пучком из оребренных биметаллических труб, оказалось, что при определенной подведенной мощности в шахте наблюдаются разнонаправленные воздушные потоки [1], способствующие

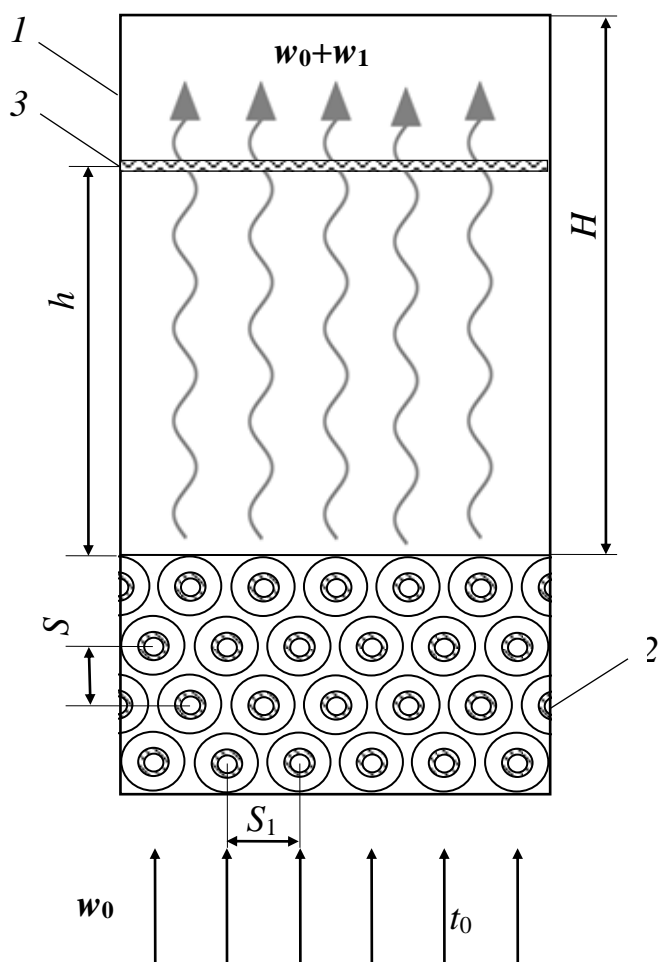


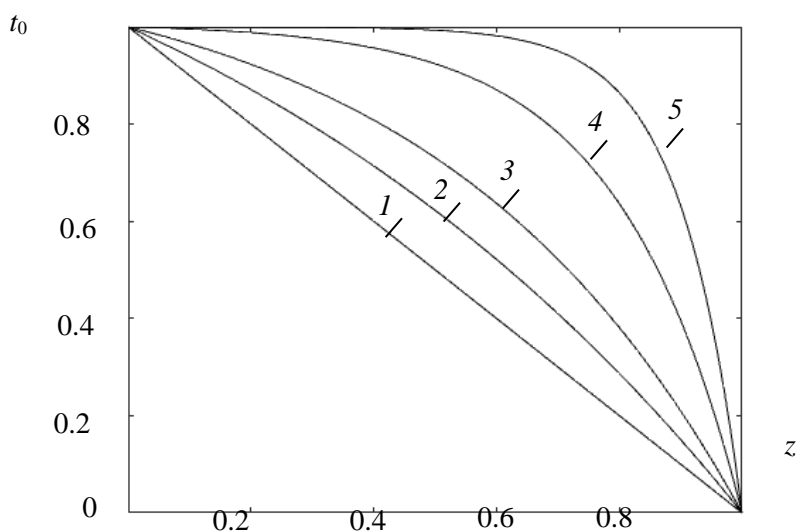
Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки: 1 – вытяжная шахта;
 2 – четырехрядный шахматный пучок труб;
 3 – сетка из легких нитей

разнонаправленные воздушные потоки [1], способствующие

Если естественная конвекция является недостаточной для охлаждения, используется принудительная вентиляция, сопровождающаяся затратами на электрическую энергию. Процесс естественной конвекции также можно интенсифицировать, используя вытяжную шахту в аппаратах воздушного охлаждения. При экспериментальном исследовании течения воздуха в шахте, имеющей в основании прямоугольник размером 38×31 см и высоту $H=52$ см и установленной над четырехрядным пучком из оребренных биметаллических труб, оказа-

более интенсивному перемешиванию воздушных масс и, соответственно, более интенсивному охлаждению источника теплоты. В качестве источника тепла рассматривался четырехрядный шахматный пучок, состоящий из $m=22$ шт. ребристых труб с поперечным $S_1=64$ мм и продольным $S_2=55,4$ мм шагами. К каждой трубе подводилась регулируемая электрическая мощность. Схема соответствующей экспериментальной установки представлена на рис. 1.

В работах [2, 3] данное явление интерпретировалось на основе конвекции Рэлея-Бенара, сопровождающейся появлением трехмерных квазипериодических структур в шахте, число которых обусловлено критическим числом Рэлея. Также была определена аналитическая зависимость критических чисел Рэлея от параметров шахты. Для описания конвекции Рэлея-Бенара использовалась система уравнений для термогравитационной конвекции в приближении Обербека-Буссинеска. Однако в ней не учитывалась конечная скорость течения воздуха в шахте, которая приводит к равновесному температурному распределению, отличному от равномерно убывающего распределения, и характеризуется числом Пекле $Pe = w_0 H/a$ (см. рис. 2).



**Рисунок 2 – Распределение температуры для чисел Пекле:
1 – $Pe = 0$; 2 – $Pe = 1$; 3 – $Pe = 2$; 4 – $Pe = 5$; 5 – $Pe = 10$**

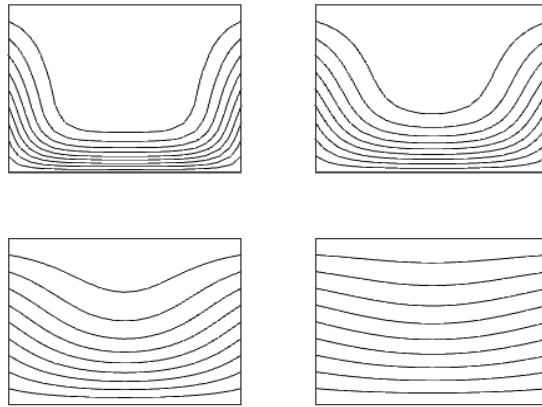
Из рис. 2 видно, что при возрастании числа Пекле температура начинает медленнее уменьшаться в направлении к выходу воздуха из шахты, что приводит к деформации ячеек Рэлея-Бенара.

В случае малых чисел Пекле можно получить аналитическое решение уравнений термогравитационной конвекции с декрементом λ , зависящем от чисел Пекле Pe , Прандтля Pr , Рэлея Ra и от геометрических размеров шахты:

$$\lambda_{nm} = \frac{in\pi Pe}{Pr} + \frac{d_{nm}^2(1+Pr)}{2Pr} \pm \sqrt{\frac{d_{nm}^4(Pr-1)^2}{4Pr^2} + \frac{Ra \cdot f_m^2}{d_{nm}^4 Pr}}, \quad (1)$$

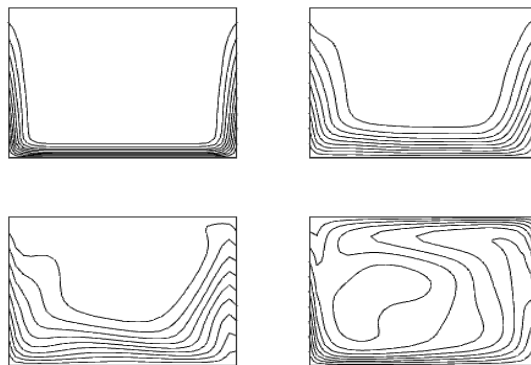
$$d_{nm}^2 = (n\pi)^2 + f_m^2, \quad f_m = 2\pi Hm/b.$$

Наличие мнимой части у декремента λ означает появление дополнительных колебательных возмущений в шахте с частотой, пропорциональной числу Пекле. При этом действительная часть декремента, определяющая критические числа Рэлея, остается такой же, как и для случая нулевой равновесной скорости [2].



**Рисунок 3 – Изотермы в докритическом режиме. Число Рэлея $Ra = 500$
а) $\tau = 0.01$; б) $\tau = 0.02$; в) $\tau = 0.05$; г) $\tau = 0.1$**

Свободная конвекция воздуха в шахте также рассчитывалась численно методом конечных разностей. На рис. 3 и 4 представлены графики изотерм в плоскости (x, z) для различных времен эволюции воздушных потоков. Видно, что в докритическом режиме (рис. 3) происходит постепенное выравнивание температуры по высоте боковой стенки. В надкритическом режиме (рис. 4) при наличии начального вихря в системе развивается неустойчивое состояние, приводящее к конвективному перемешиванию воздушных потоков и развитию квазипериодических структур.



**Рисунок 4 – Изотермы в надкритическом режиме. Число Рэлея $Ra = 6000$
а) $\tau = 0.001$; б) $\tau = 0.005$; в) $\tau = 0.01$; г) $\tau = 0.03$**

В работе рассмотрена конвективная неустойчивость течения воздуха в вытяжной шахте над горизонтальным четырехрядным оребренным пучком труб. Продемонстрировано появление колебательной неустойчивости наряду с монотонной неустойчивостью конвекции Рэлея-Бенара в случае проницаемых горизонтальных границ на основе аналитического решения уравнений термогравитационной конвекции в случае малых чисел Пекле. Также получено численное решение уравнений термогравитационной конвекции, свидетельствующее о деформации ячеек Рэлея-Бенара в случае отличия от нуля равновесной скорости течения воздуха в шахте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухоцкий А.Б., Маршалова Г.С. Особенности гравитационного течения нагретого воздуха в вытяжной шахте над многорядным оребренным пучком // ИФЖ. 2019. Т.92, № 3. С. 619–625.

2. Карлович Т.Б., Сухоцкий А.Б., Данильчик Е.С. Конвективная неустойчивость воздушных потоков в вытяжной шахте над четырехрядным оребренным пучком // Вести НАН Беларуси. Серия физ.-мат.наук. 2021. Т. 57, № 2. С. 242–254.

3. Карлович Т.Б., Сухоцкий А.Б., Данильчик Е.С. Конвекция Рэлея-Бенара в вытяжной шахте над однорядным горизонтальным пучком из оребренных труб // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. Минск : БГТУ, 2021. № 2. С. 58–64.

УДК 674.055:621.934(043.3)

В.В. Чаевский¹, доц., канд. физ.-мат. наук;
Р.Г. Штемплук², гл. инженер, канд. техн. наук;
А.К. Кулешов³, зав. лаб., канд. физ.-мат. наук
¹(БГТУ, г. Минск), ²(НП ЗАО «Синта», г. Минск), ³(БГУ, г. Минск)

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА Ni-ДНА ПОКРЫТИЙ НА СТАЛИ

В настоящее время в промышленности широко применяются композиционные электрохимические покрытия (КЭП) на основе никеля [1], интерес к которым вызван уникальным комплексом присущих этим материалам физико-химических и механических свойств. Использование детонационных наноалмазов (ДНА) [2] при электрохимическом осаждении хрома, никеля, цинка приводит к получению покрытий с высокими эксплуатационными характеристиками, такими как микротвердость, износостойкость, коррозионная стойкость. Ni-ДНА КЭП улучшают долговечность инструментов, однако никелевая

матрица не обладает высокими прочностными характеристиками и износостойкостью [3]. Поэтому безэлектролизное осаждение металлических покрытий – один из перспективных методов защиты от коррозии, поскольку позволяет получать практически беспористые, однородные по толщине покрытия на деталях сложного профиля [4]. Целью данной работы был синтез химическим способом Ni-ДНА покрытий на поверхности стальной основы и исследование структуры, фазового состава и физико-механических свойств сформированных слоев.

Перед осаждением покрытий проводилась подготовка образцов, которая представляла собой химическое обезжиривание при температуре 60–80°C в течение 5–10 мин, промывку в горячей (при температуре 40–60°C) и холодной (при температуре 18–25°C) воде, травление (в растворе H₂SO₄ (300 г/л) при температуре 18–25°C в течение 3 мин) и холодную промывку, активацию, промывку. Химическое осаждение Ni-ДНА покрытия на стальную (быстрорежущая сталь Р6М5) основу проводили при высокой температуре (96°C) из раствора на основе гипофосфита натрия следующего состава: NiSO₄·7H₂O (200,0 г/л), NaCl (20,0 г/л), H₃BO₃ (20,0 г/л), Na₂H₂PO₂ (25,0 г/л) с добавлением ДНА (~2 г/л) торговой марки «УДА-ВК» производства ЗАО «Синта» (г. Минск).

Фазовый состав сформированных Ni-ДНА покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра Ultima IV (Rigaku, Япония) в Cu-K_α излучении. Фрикционные испытания образцов с покрытиями проводились на трибометре ТАУ-1М по методу “палец-поверхность” в условиях сухого трения. Коэффициент трения образцов определялись при возвратно-поступательном скольжении, выполненном при комнатной температуре (22±1°C). Скорость движения столика с образцом составляла 4 мм/с, закругленный индентор с радиусом закругления 0,5 мм был выполнен из твердого сплава ВК8 (твердость 87,5 HRC), нагрузка при испытаниях составляла 0,5 и 1,0 Н. Микротвердость испытуемых покрытий определялась при нагрузках 300, 500 г по методу Виккерса на микротвердомере Wilson Instrumets 402MVD (Голландия).

Рис. 1 показывает, что сформированные покрытия содержат фазы α-Ni, Ni₃P и нанодиазмы. Полученный результат подтверждает исследования [5], в которых показано, что помимо фазы твердого раствора фосфора в никеле фосфор находится в осажденном химическим способом никеле в виде фосфида Ni₂P, который при термообработке при температурах 350–400°C преобразуется в устойчивый фосфид Ni₃P.

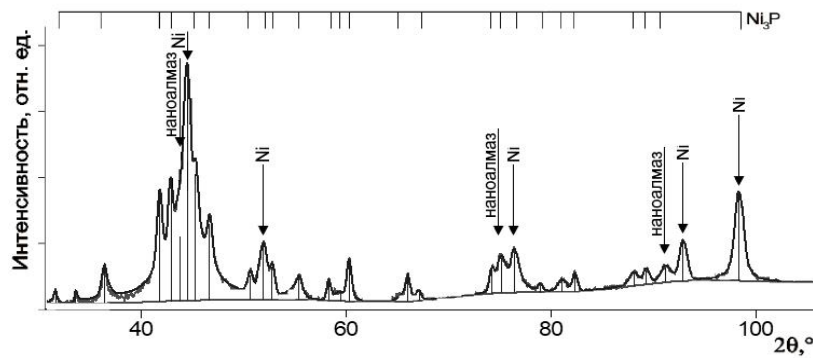


Рисунок 1 – Рентгенограмма Ni-ДНА покрытия

На основании зависимости коэффициента трения от длины пути, пройденного индентором при нагрузках 50 г и 100 г на индентор по поверхности покрытия Ni-ДНА (рис. 2), можно заключить: 1) среднее значение коэффициента трения находится в интервале 0,12–0,13; 2) покрытие имеет достаточно прочное сцепление с основой и начинает разрушаться после пройденного индентором пути 1,7–1,8 м.

Ni-ДНА покрытие имеют высокую микротвердость: 515 ± 16 HV при нагрузке 500 г на индентор и 947 ± 28 HV при нагрузке 300 г на индентор (таблица).

Таблица – Измерение микротвердости образцов с Ni-ДНА покрытиями

№ п/п	Нагрузка на индентор, г	Глубина индентирования, мкм	Значение микротвердости, HV	Среднее значение микротвердости, HV
1	500,0	5–6	495; 529; 510; 535; 505	515 ± 16
2	300,0	3,0–3,5	918; 941; 997; 942; 936	947 ± 28

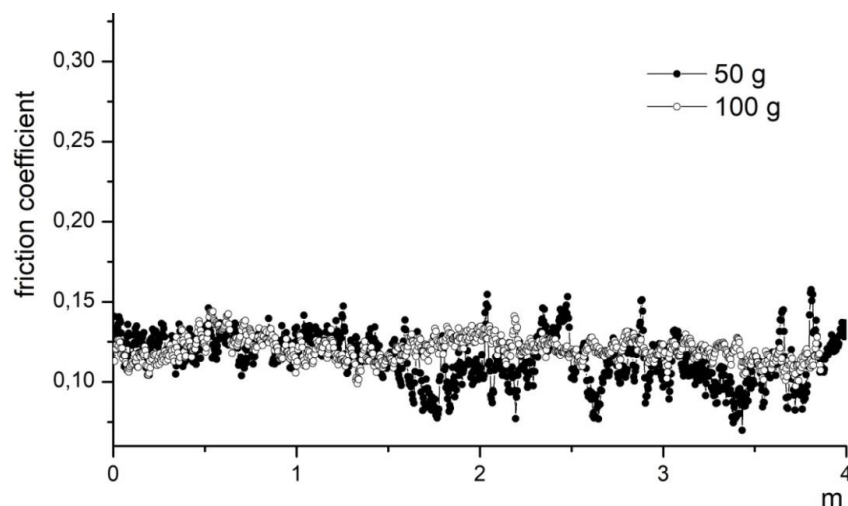


Рисунок 2 – Измерение коэффициента трения Ni-ДНА покрытия / сталь при нагрузках 50 г и 100 г

Таким образом, Ni-ДНА покрытия обладают высокими физико-механическими характеристиками и способствуют увеличению ресурса работы стальных деталей машин, механизмов и инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Целуйкин В.Н. Трибологические свойства композиционных электрохимических покрытий на основе никеля // Трение и износ, 2010. Т. 31, № 5. С. 475–478.
2. Detonation nanodiamonds: new aspects in the theory and practice of synthesis, properties and applications / V. Yu. Dolmatov [et al.] // Russ. Chem. Rev., 2020. Vol. 89, no. 12. P. 1428–1462.
3. Дисперсное упрочнение наночастицами алмазного композиционного электрохимического покрытия / Н. И. Полушин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия, 2011. № 4. С. 49–53.
4. Какарека А.С., Врублевская О.Н. Воробьева Т.Н. Химическое осаждение пленок Ni-W-P и Ni-P на алюминий как способ защиты алюминия от коррозии // Вестник БГУ, 2011. Сер. 2, № 1. С. 18–22.
5. Мамаев В.И., Кудрявцев В.Н. Никелирование. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2014. 198 с.

УДК 535.37+539.19

И.В. Вершиловская¹, ст. преп., канд. биол. наук;
Л.Л. Гладков², проф., д-р физ.-мат. наук;
Д.В. Кленицкий¹, доц., канд. физ.-мат. наук;
Ваутер Маес³, проф.;
Н.Н. Крук¹, д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой физики
¹(БГТУ, г. Минск), ²(БГАС, г. Минск),
³(Университет Хассельта, г. Хассельт, Бельгия)

ИНВЕРСИЯ АРОМАТИЧНОСТИ NH-ТАУТОМЕРОВ СВОБОДНЫХ ОСНОВАНИЙ КОРРОЛОВ В НИЖНЕМ ТРИПЛЕТНОМ T₁ СОСТОЯНИИ

Ароматичность является одной из фундаментальных концепций в химии, которая определяет стабильность, реакционную способность, а также физико-химические характеристики молекулярных систем. Для ее количественной оценки применяются различные критерии, которые отражают влияние ароматичности на энергию молекулы, ее магнитные свойства, реакционную способность, структурные параметры и стабильность [1]. Собственно молекулы порфиринов являются, как правило, ароматическими соединениями. Их макроцикл включает 26 π-электронов, и сразу несколько контуров, содержащих 18, 22, или все 26 π-электронов удовлетворяют правилу ароматичности Хюккеля $[4n + 2]$ при значениях n соответственно равных 4, 5 и 6. Молеку-

лы свободного основания коррола также обладают 26 π -электронами, удовлетворяющих правилу ароматичности Хюккеля $4n+2$, как и макроцикл свободного основания порфирина. Однако, сокращение размеров, асимметрия, нарушение планарности, а так же эффективная NH-таутомеризация в основном и возбужденных состояниях свойственные корролам значительно осложняют исследование формирования контура сопряженной π -электронной системы макроцикла, определяющий ароматические свойства этой молекулы.

Формирование контура π -сопряжения в макроцикле свободных оснований корролов до настоящего времени детально не рассматривалось. С использованием методов квантовой химии рассчитана молекулярная геометрия NH-таутомеров свободного основания незамещенного коррола (H_3K) и трех его производных: 7,13-диметил-8,12-ди-*n*-бутилкоррол (H_3TAlkK), 2,3,7,13,17,18-гексаметил-8,12-ди-*n*-бутилкоррол (H_3OAlkK), 10-(4,6-дихлоропиримидинил)- 5,15 – димезитилкоррол в основном электронном S_0 и нижнем триплетном T_1 состояниях. В рамках модели гармонического осциллятора для ароматичности (*англ.* НОМА – harmonic oscillator model of aromaticity) для оптимизированных молекулярных структур определена степень ароматичности NH-таутомеров, мерой которой выбран индекс ароматичности $I_{НОМА}$.

$$I_{НОМА} = 1 - \sum_{j=1}^2 \frac{\alpha_j}{n} \sum_{i=1}^n (R_{опт} - R_i)^2,$$

где: α_j – эмпирический параметр, определяемый атомами, формирующими данную связь, и равный 257,7 и 93,52 соответственно для С–С связей и С–N связей; $R_{опт} = 1,388 \text{ \AA}$ – оптимальная длина С–С связи, $R_{опт} = 1,334 \text{ \AA}$ – оптимальная длина С–N связи. Величины $R_{опт}$ выбраны таким образом, чтобы обеспечить для молекулы бензола величину индекса ароматичности $I_{НОМА}$, равную 1.

Согласно правилу Хюккеля в макроцикле свободных оснований корролов могут формироваться восемь различных контуров сопряжения: один, включающий весь макроцикл, четыре 18-электронных и три 22-электронных контура. Исходя из данных, представленных в таблице, можно сделать вывод, что значения индекса ароматичности $I_{НОМА}$ для 18-электронных контуров более высокие. Очевидно, что доминирующим контуром π -сопряжения в макроцикле свободных оснований корролов является один из возможных 18-электронных контуров. При переходе из основного S_0 в нижнее триплетное T_1 электронное состояние наблюдается снижение ароматичности молекул всех анализируемых соединений, о чем свидетельствует более низкий уро-

вень индекса $I_{\text{НОМА}}$. Полученные нами данные находятся в соответствии с правилом Берда об инверсии ароматичности при заселении триплетного T_1 состояния [1]. Предполагается [2], что длина связи C_1-C_{19} в дипиррольном звене может отражать локальные специфические взаимодействия и рассматриваться как чувствительный структурный параметр. Сопоставление значения индекса ароматичности с длиной связи C_1-C_{19} в молекулах исследуемых соединений показало, что более высоким значениям индекса ароматичности всегда соответствовала укороченная длина связи C_1-C_{19} молекул анализируемых корролов. Данные, представленные в таблице, иллюстрируют снижение ароматичности при переходе $H_3K \rightarrow H_3TAlkK \rightarrow H_3OAlkK$, наблюдаемое как у длинноволнового T_1 , так и у коротковолнового таутомера T_2 в основном S_0 состоянии, а также при заселении нижнего возбужденного триплетного состояния T_1 . Предполагается, что при присоединении к макроциклу коррола периферических заместителей, имеющих отрицательную константу Гаммета ($\sigma_R(H_3TAlkK) = -0.4$; $\sigma_R(H_3OAlkK) = -0.8$), происходит перераспределение электронной плотности между макроциклом и алкильными заместителями, и изменение стабильности молекулы.

Таблица – Индексы ароматичности $I_{\text{НОМА}}$ для двух таутомерных форм (T_1 и T_2) в основном электронном S_0 и нижнем триплетном T_1 состояниях для исследуемых соединений

	Весь	18-1	18-2	18-3	18-4	22-1	22-2	22-3
$H_3K-T_1(S_0)$	0.49	0.65	0.65	0.50	0.66	0.56	0.59	0.44
$H_3K-T_1(T_1)$	0.42	0.52	0.47	0.35	0.51	0.47	0.49	0.38
$H_3K-T_2(S_0)$	0.49	0.58	0.64	0.56	0.59	0.46	0.54	0.48
$H_3K-T_2(T_1)$	0.44	0.48	0.55	0.46	0.52	0.42	0.48	0.41
$H_3TAlkK-T_1(S_0)$	0.46	0.63	0.58	0.48	0.61	0.53	0.55	0.41
$H_3TAlkK-T_1(T_1)$	0.37	0.52	0.41	0.29	0.47	0.43	0.45	0.32
$H_3TAlkK-T_2(S_0)$	0.44	0.60	0.61	0.54	0.58	0.41	0.49	0.43
$H_3TAlkK-T_2(T_1)$	0.39	0.48	0.52	0.45	0.51	0.37	0.43	0.37
$H_3OAlkK-T_1(S_0)$	0.41	0.60	0.59	0.45	0.59	0.48	0.50	0.36
$H_3OAlkK-T_1(T_1)$	0.33	0.47	0.40	0.26	0.43	0.38	0.40	0.29
$H_3OAlkK-T_2(S_0)$	0.41	0.56	0.59	0.49	0.54	0.40	0.46	0.39
$H_3OAlkK-T_2(T_1)$	0.35	0.43	0.49	0.40	0.46	0.35	0.40	0.32
$H_3PMe_3K-T_1(S_0)$	0.46	0.61	0.62	0.45	0.64	0.54	0.57	0.40
$H_3PMe_3K-T_1(T_1)$	0.37	0.45	0.43	0.30	0.47	0.42	0.44	0.33
$H_3PMe_3K-T_2(S_0)$	0.46	0.52	0.59	0.52	0.55	0.41	0.51	0.46
$H_3PMe_3K-T_2(T_1)$	0.40	0.41	0.49	0.42	0.49	0.38	0.45	0.39

Таким образом, совокупность представленных результатов указывает на существенное снижение ароматичности при заселении нижнего триплетного T_1 состояния у NH-таутомеров свободных оснований

корролов с различной архитектурой периферического замещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крук Н. Н. Строение и оптические свойства тетрапиррольных соединений. Минск, БГТУ. 2019. 215 с.

2. Спектрально-люминисцентные свойства и NH-таутомерия свободных оснований алкилированных производных королюв / Ю. Х. Ажиб [et al.] // Журн. прикл. спектр. 2020. Т. 8, №3. Р. 378–386.

УДК 535.37+541.65+543.4

Д.В. Кленицкий¹, доц., канд. физ.-мат. наук;
И.В. Вершиловская¹, ст. преп., канд. биол. наук;
Н.Н. Крук¹, д-р физ.-мат. наук, зав. каф. физики
Л.Л. Гладков², проф., д-р физ.-мат. наук; В. Маес³, проф.
¹(БГТУ, г. Минск), ²(БГАС, г. Минск),
³(Университет Хассельта, г. Хассельт, Бельгия)

УПРАВЛЕНИЕ NH-ТАУТОМЕРНЫМ РАВНОВЕСИЕМ В СВОБОДНЫХ ОСНОВАНИЯХ КОРРОЛОВ ПУТЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ МАКРОЦИКЛА

Тетрапиррольные соединения, к которым относятся королюв, характеризуются сопряженной системой связанных *p*-орбиталей, которая обеспечивает делокализацию π -электронов по макроциклу. Формирование сопряженной делокализованной системы π -электронов является энергетически выгодным процессом, так как сопряженные системы имеют более низкую энергию, в отличие от несопряженных, что обуславливает их термодинамическую устойчивость. Кроме того, молекула с сопряженной делокализованной системой π -электронов, имеющей циклическое строение, при выполнении определенных условий приобретает дополнительную аномально высокую устойчивость, большую чем та, которую можно было бы ожидать только при одном сопряжении, что приводит к появлению новых характерных свойств у системы. Дополнительная устойчивость связана с заселением определенных «связывающих» молекулярных орбиталей. Это свойство химических соединений характеризуют понятием ароматичности, которая определяет стабильность, реакционную способность, а также физико-химические характеристики системы [1, 2]. В настоящей работе мы изучали влияние периферического замещения на степень ароматичности NH-таутомеров свободного основания королюв. В качестве объектов исследования были NH-таутомеры свободного основания незамещенного королюва (H_3K) и производных соединений: замещен-

ный по C_m -положениям 5,10-мезитил-15-2,6-дихлоропиримидинил-коррол (H_3AB_2K) и замещенные алкильными группами по C_b -положениям пиррольных колец макроцикла – 7,13-диметил-8,12-ди-*n*-бутилкоррол (H_3TAlkK) и 2,3,7,13,17,18-гексаметил-8,12-ди-*n*-бутилкоррол (H_3OAlkK) рис. 1.

Согласно правилу Хюккеля ароматическими являются те макроциклические системы, в молекулах которых число сопряженных π -электронов равно $4n + 2$, где n – целое число. Макроцикл корролов, как T1, так и T2 таутомера, включает в себя 26 π -электронов. Наличие восьми точек ветвления в макроцикле допускает существование сразу нескольких вариантов контура π -сопряжения, удовлетворяющих правилу Хюккеля при $n = 4, 5$ и 6. Всего возможны восемь различных контуров сопряжения: четыре 18-электронных контура (показаны на рис. 2), три 22-электронных и один, включающий в себя все 26 π -электронов.

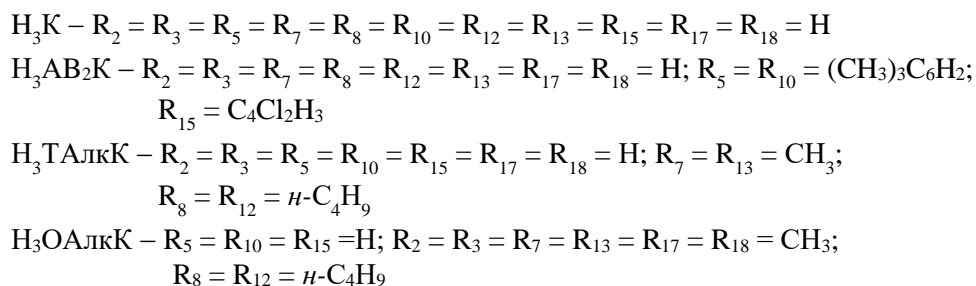
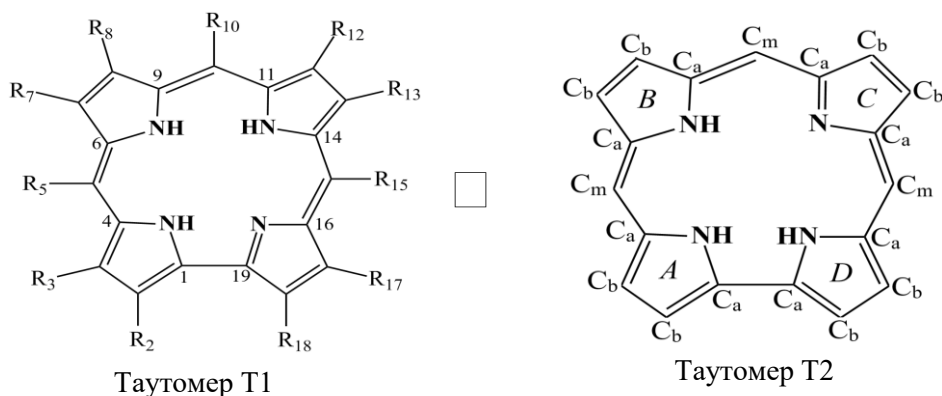


Рисунок 1 – Молекулярная структура NH-таутомеров, исследуемых соединений

Ароматичность не является непосредственно измеряемой физической величиной, поэтому для ее количественной оценки применяются различные критерии. Одними из наиболее важных критериев ароматичности являются структурные критерии, поскольку характер ароматичности существенно влияет на молекулярную структуру. Экспериментальной характеристикой, чувствительной к характеру ароматичности молекулы, является длина связей в цепи

сопряжения. Поэтому в качестве меры ароматичности молекулы мы использовали индекс ароматичности $I_{\text{НОМА}}$:

$$I_{\text{НОМА}} = 1 - \sum_{i=1}^2 \frac{\alpha_i}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} (R_i^{\text{опт}} - R_j)^2,$$

где n_1 и n_2 – количество С–С и С–N связей в контуре сопряжения; α_1 и α_2 – эмпирические параметры, определяемые атомами, формирующими данную связь, и равные 257,7 и 93,52 соответственно для С–С связей и С–N связей; $R_1^{\text{опт}} = 1,388 \text{ \AA}$ и $R_2^{\text{опт}} = 1,334 \text{ \AA}$ – оптимальные длины С–С и С–N связей; R_j – длина связи в контуре сопряжения. Эмпирические параметры в этом соотношении выбраны таким образом, чтобы обеспечить для молекулы бензола величину индекса ароматичности $I_{\text{НОМА}}$, равную единице.

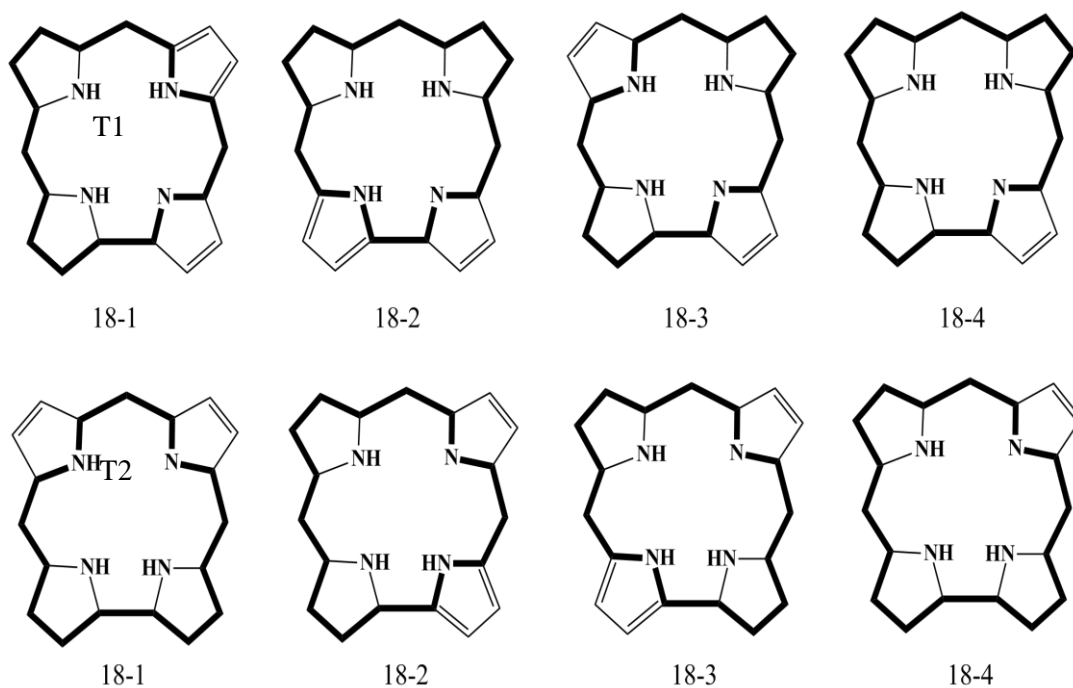


Рисунок 2 – Схема возможных 18-электронных контуров сопряжения для T1 и T2 аутомеров

Индекс ароматичности был вычислен для всех возможных контуров сопряжения таутомеров T1 и T2 изученных молекул. Результаты вычисления приведены в таблице.

Сравнение индексов ароматичности показывает, что для всех соединений бóльшие значения $I_{\text{НОМА}}$ имеют 18-электронные контуры. Это свидетельствует об более эффективном сопряжении именно вдоль этих контуров. Индексы ароматичности различаются для двух таутомерных форм и зависят от характера периферического замещения.

Таблица – Индекс ароматичности $I_{\text{НОМА}}$ для возможных контуров сопряжения исследуемых молекул

Коррол	Таутомер	Количество π -электронов и номер контура							
		18-1	18-2	18-3	18-4	22-1	22-2	22-3	26
Н ₃ К	T1	0,649	0,649	0,503	0,665	0,561	0,591	0,436	0,489
	T2	0,584	0,642	0,560	0,592	0,461	0,542	0,483	0,490
Н ₃ АВ ₂ К	T1	0,608	0,618	0,450	0,641	0,536	0,575	0,401	0,460
	T2	0,516	0,595	0,521	0,546	0,415	0,514	0,460	0,460
Н ₃ ГАлкК	T1	0,632	0,581	0,476	0,610	0,533	0,552	0,407	0,461
	T2	0,600	0,609	0,537	0,579	0,412	0,487	0,434	0,437
Н ₃ ОАлкК	T1	0,601	0,588	0,451	0,592	0,482	0,504	0,362	0,413
	T2	0,562	0,590	0,494	0,539	0,397	0,460	0,391	0,409

Для всех изученных молекул длинноволновой таутомер T1 оказался более ароматичным, чем коротковолновой таутомер T2. Доминирующие контуры различаются для T1 и T2 таутомеров. Для T1 таутомера незамещенного Н₃К коррола доминирующим является контур 18-4 с максимальным значением $I_{\text{НОМА}} = 0,665$, а для T2 таутомера этого же соединения контур 18-2 с $I_{\text{НОМА}} = 0,642$. Причем для T1 таутомера имеются контуры сопряжения (18-1, 18-2) с практически одинаковыми значениями $I_{\text{НОМА}}$, которые близки по значению с доминирующим, чего не наблюдается для T2 таутомера. Подобная ситуация имеет место для мезо-замещенного Н₃АВ₂К коррола. Это свидетельствует о том, что для T1 таутомера этих соединений, проводимость через атом азота пиррольного кольца (B), которое расположено напротив пирроленинового кольца (C), более слабое, чем через атомы углерода этого кольца. Для соседних с пирролениновым кольцом D пиррольных колец A, C проводимость по фрагменту C_a-NH-C_a сравнима с проводимостью по фрагменту C_a-C_b-C_b-C_a этих колец. Как следствие индексы $I_{\text{НОМА}}$ для контуров 18-1, 18-2, 18-4 имеют близкие значения, которые значительно превышают значение индекса для контура 18-3. Сравнение 26- и 22- электронных контуров T1 таутомера Н₃К и Н₃АВ₂ корролов указывает, что степень сопряжения зависит от включения в контур сопряжения фрагментов, содержащих атомы азота пиррольных колец. При этом изменение индексов $I_{\text{НОМА}}$ можно объяснить, если предположить, что проводимость через атом азота пиррольного кольца, которое противоположно пирролениновому кольцу, более слабое, чем через атомы азота пиррольных колец соседних с пирролениновым кольцом.

Для T2 таутомера Н₃К и Н₃АВ₂ корролов ситуация изменяется. Имеется доминирующий контур 18-2 и контуры 18-1, 18-3, 18-4 с близкими значениями $I_{\text{НОМА}}$, которые значительно меньше доминирующего значения. Сравнение 18- электронных контуров между собой в этом случае и анализ индексов $I_{\text{НОМА}}$ показывает, что для пиррольного кольца D соседнего с пирролениновым кольцом C проводимость по

фрагменту C_a-NH-C_a превышает проводимость по фрагменту $C_a-C_b-C_b-C_a$ этого кольца. Для оставшихся пиррольных колец *A*, *B* проводимость через атом азота пиррольного кольца приблизительно сравнима с проводимостью через атомы углерода этого кольца. Сравнение 26- и 22- электронных контуров T2 таутомера в этом случае указывает на то, что проводимость через атом азота пиррольного кольца *D* превышает проводимость через атомы азота колец *A* и *B*.

При алкилировании макроцикла по C_b -положениям пиррольных колец ароматичность молекулы уменьшается по сравнению с незамещенным H_3K и мезозамещенным H_3AB_2 корролами как для T1, так и для T2 таутомеров. Ароматичность тетраалкилированного H_3TAlkK коррола оказывается больше, чем у октаалкилированного H_3OAlkK коррола. При этом по сравнению с незамещенным H_3K корролом у T1 таутомера этих молекул изменяется доминирующий контур сопряжения с 18-4 на 18-1. Причем у H_3OAlkK коррола значения $I_{НОМА}$ для контуров сопряжения 18-2, 18-4 сравнимы с доминирующим контуром. Для T2 таутомера этих молекул доминирующий контур не изменяется по сравнению с незамещенным H_3K корролом. При этом у H_3TAlkK коррола контуры 18-1, 18-4 близки по значениям индекса ароматичности с доминирующим контуром. Изменение контуров сопряжения можно объяснить уменьшением эффективности сопряжения вдоль фрагмента $C_a-C_b-C_b-C_a$ пиррольных колец, вдоль которых выполнено замещение.

Таким образом, изменение свойств NH-таутомеров корролов с различным типом периферического замещения связано с формированием различных контуров сопряжения вдоль макроцикла. Вследствие замещения наблюдается перераспределение электронной плотности между макроциклом и заместителями, которые могут быть в общем случае как донорами, так и акцепторами электронной плотности. Если в макроцикле формируется распределение электронной плотности характерное для одного из таутомеров, то равновесие между двумя NH-таутомерами должно смещаться. Влияние изменения электронной плотности в макроцикле на ароматичность двух NH-таутомеров требует дальнейшего изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крук Н.Н. Строение и оптические свойства тетрапиррольных соединений // Минск, БГТУ, 2019. – 216 с.
2. Квантово-химический расчет и спектроскопическое исследование контура π -сопряжения в NH-таутомерах свободных оснований корролов / Кленицкий Д.В. [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. 2021. Т. 88, № 6. С. 856–864.

Л.Л. Гладков¹, проф., д-р физ.-мат. наук;
Д.В. Петрова², науч. сотр., канд. хим. наук;
В. Маес³, проф., Д.В. Кленицкий⁴, доц., канд. физ.-мат. наук;
Н.Н. Крук⁴, зав. кафедры физики, д-р физ.-мат. наук
¹(БГАС, г. Минск), ²(ИГХТУ, г. Иваново, РФ),
³(Университет Хассельта, г. Хассельт, Бельгия), ⁴(БГТУ, г. Минск)

О ФОРМИРОВАНИИ ЧЕТЫРЕХ NH-ТАУТОМЕРОВ В СВОБОДНЫХ ОСНОВАНИЯХ АССИММЕТРИЧНО ЗАМЕЩЕННЫХ КОРРОЛОВ

Корролы относятся к группе сокращенных тетрапиррольных соединений, потому что в макроцикле корролов отсутствует один метиновый мостик и два соседних пиррольных кольца соединены C_a-C_a связью. Вместе с тем, корролы сохраняют ароматический характер в результате того, что макроцикл свободных оснований корролов содержит три пиррольных и одно пирролениновое кольцо, в отличие от макроцикла свободного основания порфирина, включающего по два пиррольных и пирролениновых кольца. Поскольку пиррольное кольцо донирует в π -электронную систему макроцикла на один электрон больше, чем пирролениновое, то это компенсирует отсутствие π -электрона атома углерода метинового мостика. Однако, структурные отличия порфиринов и корролов на этом не заканчиваются. Дело в том, что три протона не могут разместиться в плоскости ядра тетрапиррольного макроцикла, и, таким образом, индуцируются отклонения от планарного строения макроцикла даже при отсутствии любых других возмущающих факторов.

Свободные основания коррола всегда существуют в виде NH-таутомеров, отличающихся расположением трех протонов в асимметричном (из-за отсутствия одного метинового мостика) макроцикле, которые могут претерпевать взаимные превращения в основном и возбужденных электронных состояниях. Хотя NH-таутомеры являются изоэлектронными, распределение электронной плотности у них различается, что приводит к формированию существенно отличающихся спектров поглощения и люминесценции NH-таутомеров [1–2]. Следует подчеркнуть, что понятие асимметрии для свободных оснований корролов носит иерархический характер. Чаще всего, асимметрия трактуется как результат различия в способах соединения пиррольных колец при формировании макроцикла. Эта асимметрия является неотъемлемой характеристикой корролов. В случае свободных оснований корролов это приводит к существованию двух NH-

таутомеров (рис. 1), у которых протоны локализованы либо в дипиррометеновом фрагменте макроцикла (таутомеры T1), либо в дипиррольном (таутомер T2).

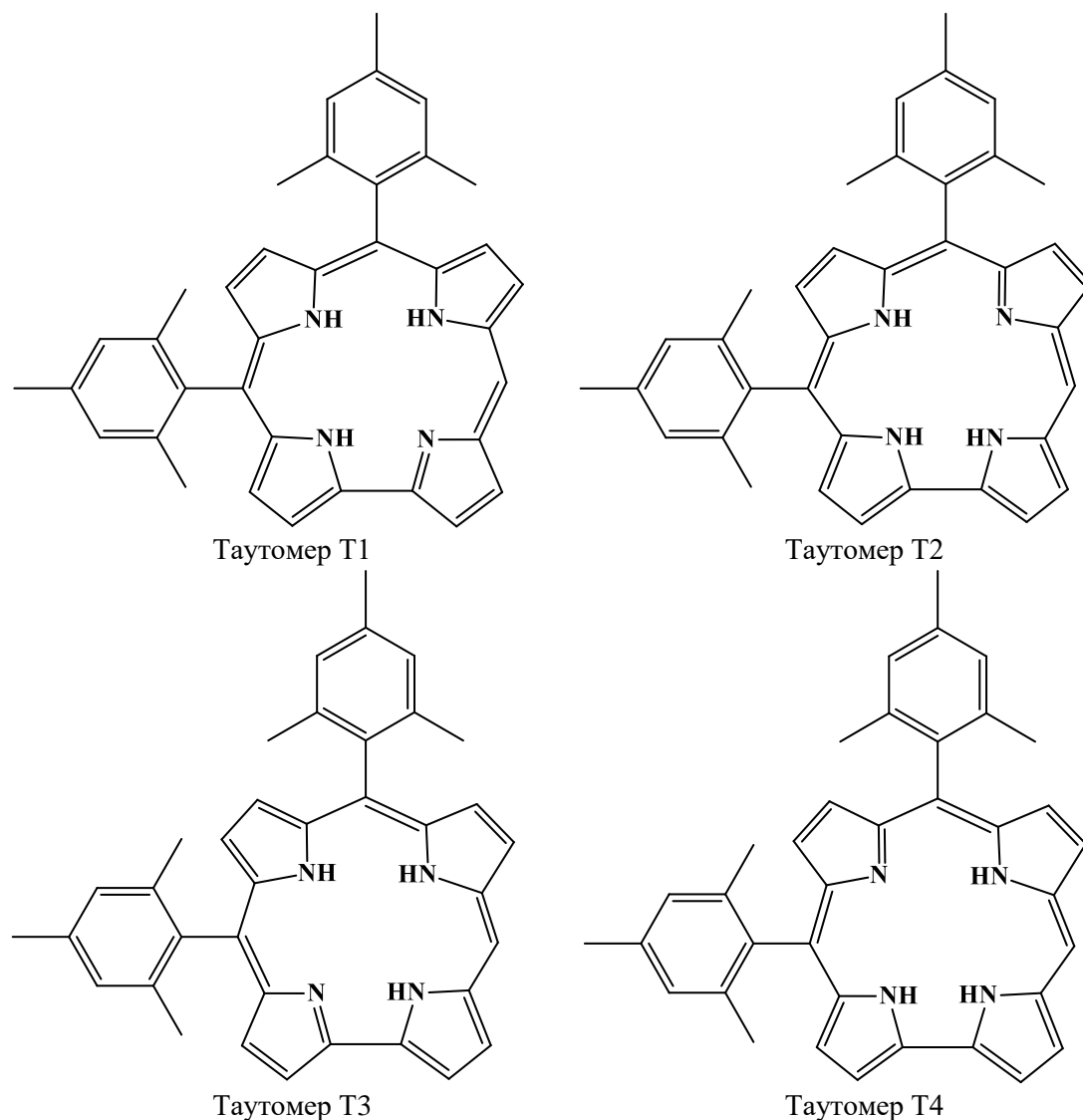


Рисунок 1 – Структура исследуемых NH-таутомеров асимметрично замещенного 5,10-димезитил-коррола

Реакционная способность C_m атомов углерода в положениях 5 и 15 очень близка. Поэтому подавляющая часть свободных оснований корролов, замещенных по *мезо*-положениям, представляет собой соединения типов A_3 либо A_2B , т.е. замещение симметрично относительно оси, проходящей через C_m атом углерода в положении 5 и середину связи C_1-C_{19} в дипиррольном фрагменте. Для таких соединений также могут наблюдаться только два NH-таутомера – T1 и T2.

Однако, если периферическое замещение макроцикла также

асимметрично, т. е. во всех *мезо*-положениях присоединены различные заместители – так называемое замещение ABC типа, то количество возможных NH-таутомеров должно увеличиться вдвое (рис. 1). Поэтому в настоящей работе квантово-химическими методами мы изучили свободные основания 5,10-димезитил-коррола, у которых 15 положение занимает протон. Анализ оптимизированной геометрии четырех возможных NH-таутомеров показал, что все они различаются (таблица).

Таблица – Среднеквадратичное отклонение атомов от средней плоскости макроцикла $\Delta 23$ и двугранные углы наклона пиррольных колец к средней плоскости макроцикла ϕ

	T1	T2	T3	T4
$\Delta 23, \text{Å}$	0,1977	0,1922	0,1906	0,1686
$\phi_A, ^\circ$	18,6	17,0	7,01	5,27
$\phi_B, ^\circ$	9,60	5,93	2,95	2,02
$\phi_C, ^\circ$	5,78	4,79	10,1	4,43
$\phi_D, ^\circ$	6,36	4,99	17,6	19,3

Действительно, асимметричное замещение мезитильными группами в 5,10-положениях макроцикла приводит к формированию четырех различных NH-таутомеров. Эти таутомеры характеризуются различной степенью неплоскостных искажений макроцикла, причем отличия в величине параметра $\Delta 23$ в парах таутомеров T1 и T2, T3 и T4 весьма существенны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крук Н. Н. Строение и оптические свойства тетрапиррольных соединений. Минск, БГТУ. 2019. С. 216.
2. Origin of the Individual Basicity of Corrole NH-Tautomers: A Quantum Chemical Study on Molecular Structure and Dynamics, Kinetics, and Thermodynamics / W. J. D. Beenken [et al.] // J. Phys. Chem., A. 2015. Vol. 119, № 26. P. 6875–6883.

Э.Э. Бильданов, ассист.;
 Я.Г. Грода, доц., канд. физ.-мат. наук;
 Р.Н. Ласовский, доц., канд. физ.-мат. наук (БГТУ, г. Минск)

АДСОРБЦИЯ ЧАСТИЦ РЕШЕТОЧНОГО ФЛЮИДА С ОТТАЛКИВАНИЕМ БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ НА ЛИНЕЙНУЮ ИНЕРТНУЮ ПРИТЯГИВАЮЩУЮ ГРАНИЦУ

Традиционно адсорбция рассматривается как процесс осаждения частиц на поверхности. Большое внимание уделяется как моно-, так и полимолекулярной адсорбции. В то же время, недостаточно внимания уделено адсорбции монослоя частиц на ограничивающие систему стенки.

Если рассматривать адсорбированный монослой в рамках двумерной решеточной системы, тогда ограничивающие стенки являются одномерными, соответственно можно изучить адсорбцию частиц с учетом их межчастичного взаимодействия, а также с учетом взаимодействия частиц с самой границей.

Исзуемая решеточная модель представляет собой треугольную решетку, с числом $N = L \cdot B$ узлов \mathbf{x} , где B – количество рядов решетки между ограничивающими стенками, L – ширина монослоя.

Расстояние между осаждаемыми стенками B выбирается достаточно большим для уменьшения влияния размерных эффектов. С этой же целью на двух других стенках задаются периодические граничные условия ($\mathbf{x}_{L+1} = \mathbf{x}_0$, $\mathbf{x}_{-1} = \mathbf{x}_L$), а расстояние между ними L выбирается в несколько раз больше периода упорядоченной структуры в основном состоянии.

Для описания отталкивающего межчастичного взаимодействия в ближайшем окружении (частица-частица) и притягивающего взаимодействия приграничных частиц (частица-стенка) используется термодинамический гамильтониан следующего вида:

$$H^* = \frac{1}{2} \sum_{\mathbf{x}} \sum_{\mathbf{x}'} J^* n(\mathbf{x}) n(\mathbf{x}') - \mu^* \sum_{\mathbf{x}} n(\mathbf{x}) + U_w \sum_{\mathbf{x}_0} n(\mathbf{x}), \quad (1)$$

где $J^* > 0$ – параметр межчастичного отталкивания; $n(\mathbf{x}) = 1(0)$ – состояние узла \mathbf{x} когда он занят (вакантен); μ^* – химический потенциал решеточного монослоя флюида; U_w – параметр притяжения приграничных частиц \mathbf{x}_0 к линейной границе.

В статистическом моделировании, согласно методу Монте-Карло (алгоритм Метрополиса), используются безразмерные величины, отнесенные к параметру взаимодействия межчастичного отталкивания J^* : $H = H^* / J^*$; $\mu = \mu^* / J^*$; приведенная температура

$T = k_B T^* / J^*$, где k_B – постоянная Больцмана; $h = U_w / J^*$.

В качестве параметров моделирования и статистико-механического анализа принимаются следующие величины: $J = J^* = 1$, что соответствует энергии межчастичного отталкивания; $h = -1$, что соответствует энергии притяжения приграничных частиц к стенке.

Величина адсорбции Гиббса в случае решеточного моделирования определяется следующим образом:

$$\Gamma(\mu) = \frac{1}{2} \sum_{z=0}^{B-1} (\rho_z - \rho_c), \quad (2)$$

где ρ_c – среднее значение плотности частиц в центральной трети системы; ρ_z – среднее значение плотности частиц на z -ом слое от стенки.

Для фиксированных значений химического потенциала μ и температуры T определялась зависимость от координаты z плотности частиц в системе ρ_z после достижения ею равновесного состояния (спустя 10000 МКШ). Для изучаемой области химического потенциала ($-2 \leq \mu \leq 0$) переход из начального неравновесного состояния к равновесному достигается менее чем за 10000 МКШ. Полученные значения плотности частиц ρ_z усреднялись по 100000 различным конфигурациям равновесного состояния для уменьшения статистической погрешности.

В рамках квазихимического приближения составляется система связанных нелинейных уравнений для определения плотности частиц ρ в каждом z -ом ряду от стены с учетом энергии притяжения приграничных частиц со стенкой при фиксированных значениях химического потенциала системы μ и температуры T .

$$\begin{aligned} \frac{\mu}{T} &= \ln \frac{\rho_0}{1-\rho_0} - \frac{\rho_0}{T} - 2 \left(\lim_{\rho_w \rightarrow 1} \left(\ln \frac{Y(\rho_w) - \rho_w}{1-\rho_w} \right) + \ln \frac{Y(\rho_0) - \rho_0}{1-\rho_0} + \ln \frac{Y(\rho_1) - \rho_1}{1-\rho_1} \right); \\ \frac{\mu}{T} &= \ln \frac{\rho_{z-1}}{1-\rho_{z-1}} - 2 \left(\ln \frac{Y(\rho_{z-2}) - \rho_{z-2}}{1-\rho_{z-2}} + \ln \frac{Y(\rho_{z-1}) - \rho_{z-1}}{1-\rho_{z-1}} + \ln \frac{Y(\rho_b) - \rho_b}{1-\rho_b} \right); \quad (3) \\ \frac{\mu}{T} &= \ln \frac{\rho_k}{1-\rho_k} - 2 \left(\ln \frac{Y(\rho_{k-1}) - \rho_{k-1}}{1-\rho_{k-1}} + \ln \frac{Y(\rho_k) - \rho_k}{1-\rho_k} + \ln \frac{Y(\rho_{k+1}) - \rho_{k+1}}{1-\rho_{k+1}} \right). \end{aligned}$$

Первое и второе уравнение системы (3) определяют плотность частиц в первом от стены ряду и $z-1$ ряду, находящемся на расстоянии $B/2$ от стены, в котором плотность частиц приблизительно равна плотности частиц в объеме ρ_b , соответственно. Третье уравнение определяет плотность частиц в k -ом ряду от стенки, где k меняется от 1 до $z-2$,

Значение средней плотности частиц в объеме ρ_b определяется согласно [1] следующим образом:

$$\frac{\mu}{T} = \ln \frac{\rho_b}{1 - \rho_b} - 6 \ln \frac{Y(\rho_b) - \rho_b}{1 - \rho_b}, \quad (4)$$

где в соответствии с [1]

$$Y(\rho) = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 + 4\rho(1 - \rho)(e^{-1/T} - 1)} \right). \quad (5)$$

На рис. 1 представлены результаты адсорбции при температурах $T = 0,3; 0,4$ и $0,5$, которые соответствуют значениям ниже критической температуры для решеточного флюида с отталкиванием ближайших соседей на треугольной решетке ($T_{кр} = 0,95$ согласно [1]). Адсорбция при более высоких температурах не отличается от адсорбции ленгмюровского типа, так как межчастичное взаимодействие не оказывает большого влияния.

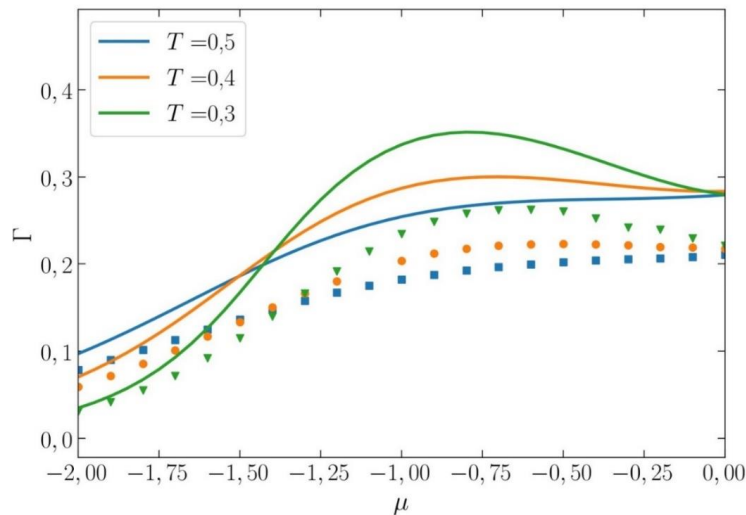


Рисунок 1 – Адсорбция Γ на притягивающую стенку с величиной $h = -1$ в зависимости от химического потенциала μ для систем с отталкиванием ближайших соседей при различных значениях приведенной температуры T : Сплошные линии – результат квазихимического приближения, маркеры – данные компьютерное моделирование. Один и тот же цвет маркеров и сплошных линий соответствует одному и тому же значению температуры

Количественное расхождение результатов аналитического приближения и компьютерного моделирования величины адсорбции отражает расхождение в определении равновесных свойств системы. Квазихимическое приближение (КХП) хорошо описывает поведение системы при малых значениях химического потенциала, при которых в ней отсутствует упорядоченная фаза. Аномальное поведение, выражающееся в уменьшении адсорбции при химическом потенциале адсорбирующей фазы $\mu > -0,75$, хорошо воспроизводится как при моделировании системы, так и при ее аналитическом рассмотрении в рамках КХП.

В приграничном слое для систем с отталкиванием концентрация

частиц оказывается большей, чем в слоях, расположенных далеко от границы. Этот эффект вызван притяжением стенки, которое создает своего рода аналог конкурирующего взаимодействия. В результате этого второй от стенки слой в основном состоянии оказывается обедненным, что вносит отрицательный вклад в адсорбцию. Этот эффект характерен для систем с конкурирующими взаимодействиями, в которых обедненный слой создается за счет образования эффективного отталкивающего барьера [2, 3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Вихренко В. С., Бокун Г. С., Грода Я. Г. Равновесные и диффузионные характеристики интеркаляционных систем на основе решеточных моделей. Минск : БГТУ, 2008. – 326 с.

2. Adsorption anomalies in a two-dimensional model of cluster-forming systems / E. Bildanau [et al.] // *Physical Review E*. 2020. Vol. 101. Art. 012801 (8 p.).

3. Litniewski M., Ciach A. Effect of aggregation on adsorption phenomena // *The Journal of chemical physics*. 2019. Vol. 150, № 23. Art. № 234702.

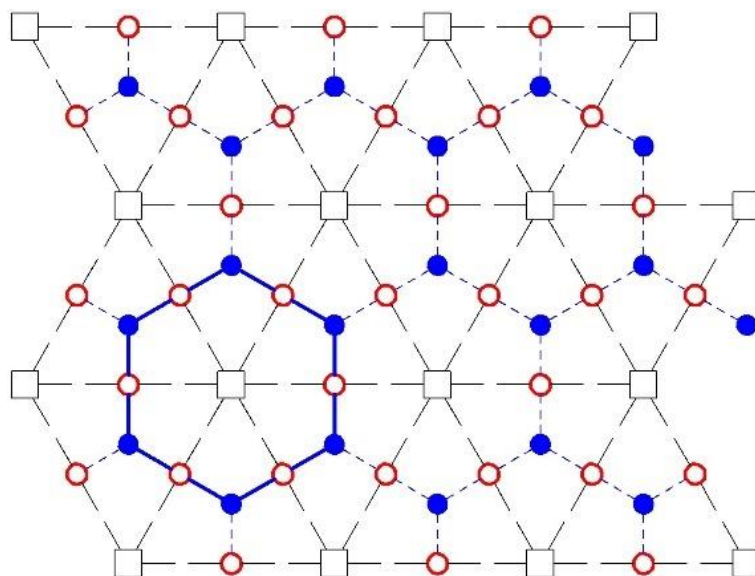
УДК 538.91

Я.Г. Грода, доц., канд. физ.-мат. наук;
Н.Г. Грода, зав. лабораторией;
Э.Э. Бильданов, ассист. (БГТУ, г. Минск)

ДИФФУЗИИ РЕШЕТОЧНОГО ФЛЮИДА С ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ НА НЕПРЯМОУГОЛЬНОЙ ДВУХУРОВНЕВОЙ РЕШЕТКЕ

Перенос массы и связанный с ним перенос заряда посредством диффузии играют важную роль во многих физических, химических и биологических процессах [1]. Модель решеточного газа (решеточного флюида) является одной из простейших моделей, пригодных для описания таких процессов.

В качестве основы для построения двухуровневой решеточной системы рассмотрена кристаллическая плоскость (1,1,1) простой кубической решетки. В указанной плоскости атомы кристалла образуют плоскую треугольную решетку как это показано на рис. 1, где данные атомы представлены светлыми квадратами. Взаимодействие между атомами поверхности формирует энергетический профиль, минимумы которого отвечают узлами исследуемой решеточной модели, т. е. местами размещения на поверхности примесных частиц.



**Рисунок 1 – Схематический вид решетки с двумя типами узлов
Квадраты соответствуют атомам кристаллической поверхности,
светлые и темные круги – α - и γ -узлам решеточной модели**

Для описания поведения ансамбля таких частиц на временных интервалах, больших характерного времени релаксации системы, может быть использована модель решеточного газа. В ней минимумы потенциальной энергии отвечают модельным решеточным узлам, каждый из которых может быть либо занят частицей (и только одной), либо быть вакантным.

Геометрические особенности исходной решетки позволяют выделить два типа узлов решеточной модели. Одни из них – α -узлы – расположены между двумя соседними атомами поверхности и представлены на рис. 1 светлыми кружками. Второй тип узлов – γ -узлы – расположены в центре правильного треугольника, построенного на трех соседних атомах кристаллической поверхности. На рис. 1 γ -узлы изображены в виде темных кругов. Число узлов каждого типа, N_α и N_γ , соответственно, может быть легко определено

$$N_\alpha = 3N/5, \quad N_\gamma = 2N/5, \quad (1)$$

где N – полное число решеточных узлов.

В общем случае глубины потенциальных ям, отвечающие α - и γ -узлам могут быть различными

$$\varepsilon_\alpha \neq \varepsilon_\gamma, \quad \delta\varepsilon = \varepsilon_\alpha - \varepsilon_\gamma, \quad (2)$$

где ε_α , ε_γ – глубина потенциальной ямы, отвечающей решеточному узлу определенного типа, $\delta\varepsilon$ – разность глубин потенциальных ям.

Для исследования равновесных свойств описанной выше модели были в работе [2] предложены квазихимическое и диаграммное при-

ближения. Транспортные свойства модели могут быть исследованы, например, путем моделирования системы по методу Монте-Карло (МК). При этом следует отметить, что в отличие от моделирования ее равновесных свойств, процесс миграции частиц моделируется в каноническом ансамбле, т. е. при фиксированном числе частиц в системе. Алгоритм МК-моделирования и определения коэффициентов диффузии детально описан в работе [3].

К особенностям моделирования рассматриваемой системы может быть отнесен тот факт, что для устранения различий в значениях координационных чисел для подрешеток α и γ , моделируемая решеточная система может быть дополнена т.н. фиктивными решеточными узлами [2]. Их введение позволяет преобразовать исходную решеточную структуру в квадратную решетку, в которой каждый решеточный узел имеет 4 ближайших соседа. При этом любой узел подрешетки α имеет 2 фиктивных узла среди своих ближайших соседей, а узел подрешетки γ только один соседний фиктивный узел.

В работе [4] для оценки кинетического коэффициента диффузии D_J на двухуровневых решетках предложено аналитическое выражение, которое для представленной на рис. 1 системы может быть представлено в виде

$$\frac{D_J}{D_0} = \frac{\exp(\beta\mu)P_1(0,0)}{c} (P_s^< + P_d^>) \frac{N_\gamma}{N_\alpha} \exp(\beta\delta\varepsilon), \quad \beta = \frac{1}{k_B T}, \quad (3)$$

где D_0 – коэффициент диффузии единичной частицы на менее глубокой подрешетке; c , μ и $P_1(0,0)$ – равновесные значения концентрации частиц, химического потенциала и вероятности двум ближайшим узлам быть вакантными; k_B – постоянная Больцмана; T – температура;

$$P_s^< = \frac{1}{z_s - 1} \left(z_s - \frac{1 - c_d^{z_s}}{1 - c_d} \right), \quad P_d^> = \frac{1}{z_d - 1} \left(z_d - \frac{1 - (1 - c_s)^{z_d}}{c_s} \right), \quad (4)$$

z_d и z_s – число ближайших узлов, окружающих глубокие (deep) и мелкие (shallow) решеточные узлы, соответственно, c_d и c_s – концентрация частиц на подрешетках, составленных из глубоких и мелких узлов, соответственно.

На рис. 2 представлена зависимость от концентрации кинетического коэффициента диффузии решеточного флюида с притяжением (а) и отталкиванием (б) ближайших соседей на двухуровневой решетке.

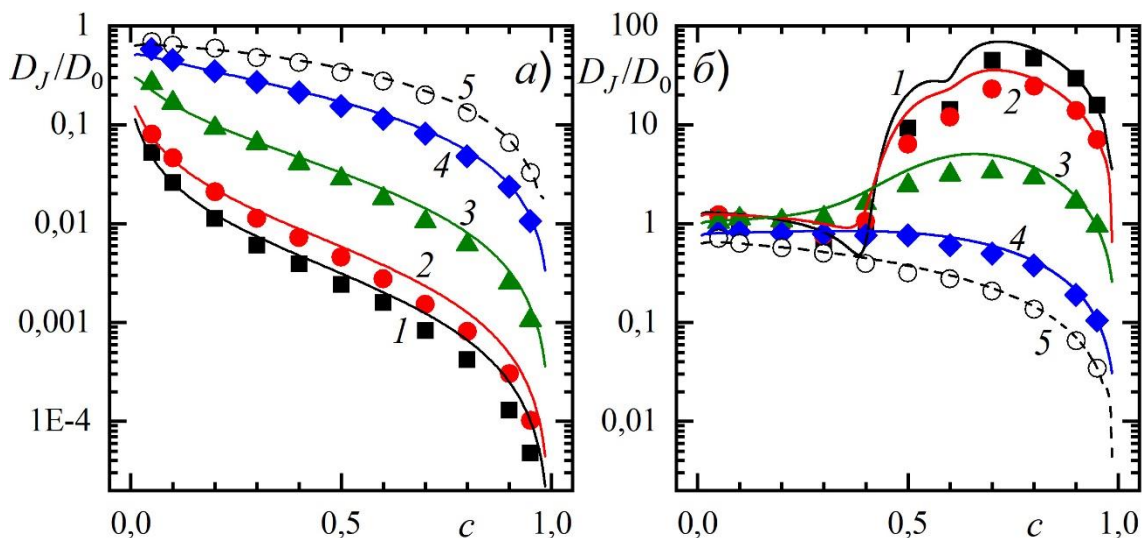


Рисунок 2 – Зависимость от концентрации кинетического коэффициента диффузии решеточного флюида с притяжением (а) и отталкиванием (б) ближайших соседей на двухуровневой решетке

**Точками представлены результаты МК-моделирования, линиями – результаты аналитических вычислений.
 $T/T_c = 1.05$ (1), 1.2 (2); 2.0 (3); 6.0 (4) и 10^3 (5)**

В случае системы с притяжением коэффициент диффузии быстро уменьшается с увеличением концентрации примесных частиц. Это связано с двумя причинами: во-первых, уменьшается количество доступных вакантных мест в окрестности частицы и, во-вторых, притяжение между частицами увеличивает глубину ловушек и делает прыжки частиц менее вероятными.

В случае системы с отталкиванием поведение коэффициента диффузии сложное. Прежде всего, видно, что при малых концентрациях межмолекулярное взаимодействие слабо влияет на диффузионные свойства жидкости.

Как правило, на значение коэффициента диффузии влияют два фактора. Первый из них – это блокировка решеточных узлов, усиливающаяся с ростом концентрации. В то же время межчастичное отталкивание приводит к увеличению подвижности частиц. В результате действия таких разнонаправленных трендов коэффициент диффузии скачка остается примерно постоянным до $c < 0,20$. При высоких концентрациях и высоких температурах коэффициент диффузии начинает уменьшаться из-за блокирующего эффекта. В то же время при более низких температурах решающую роль играют межчастичные взаимодействия, которые приводят к росту коэффициента диффузии.

Работа выполнена при поддержке научно-исследовательского учреждения «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета (проект № ХД 21-408 от 15.09.2021).

ЛИТЕРАТУРА

1. Stromme M. Li insertion into WO₃: introduction of a new electrochemical analysis method and comparison with impedance spectroscopy and the galvanostatic intermittent titration technique // *Solid State Ionics*. 2000. Vol. 131. P. 261–273.
2. Groda Ya. G. Equilibrium properties of the lattice fluid with the repulsion between the nearest neighbors on the two-level nonrectangular lattice // *Cond. Matt. Phys.* accepted for publication.
3. Uebing C., Gomer R. A. Monte Carlo study of surface diffusion coefficients in the presence of adsorbate-adsorbate interactions // *J. Chem. Phys.* 1991. Vol. 95. P. 7626–7652.
4. Tarasenko A. A., Bohac P., Jastrabik L. Migration of particles on heterogeneous bivariate lattices: The universal analytical expressions for the diffusion coefficients // *Physica E*. 2015. Vol. 74. P. 556–560.

УДК 538.91

Р.Н. Ласовский¹, доц., канд. физ.-мат. наук;
Я.Г. Грода¹, доц., канд. физ.-мат. наук;
Д.В. Гапанюк¹, доц., канд. физ.-мат. наук;
Т.Н. Пацаган², науч. сотр., д-р. физ.-мат. наук
¹(БГТУ, г. Минск), ²(ИФКС НАНУ, г. Львов)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕШЕТОЧНЫХ СИСТЕМ С ОТТАЛКИВАНИЕМ БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ

Решеточные модели нашли широкое применение в моделировании многочисленных физико-химических, механических, информационных и т. п. процессов [1–3].

При некоторых условиях, в частности, при межчастичном отталкивании, в решеточном флюиде может наблюдаться фазовый переход второго рода типа порядок – беспорядок [1], и система «раслаивается» на две подрешетки (рис. 1.). Прямое моделирование методом Монте Карло показывает, что такое расслоение обеспечивается при учете короткодействующего отталкивательного взаимодействия между ближайшими соседями при температурах ниже критической и соответствующих плотностях [1, 2].

С энергетической точки зрения понятно, что минимальной (нулевой) энергии взаимодействия частиц системы при половинном заполнении решетки соответствует (в двумерном случае) их распределение по узлам в шахматном порядке. С более общих позиций известно, что радиус статистических корреляций превышает радиус межча-

стичных взаимодействий, что может приводить при определенных условиях к образованию дальнего порядка и фазовым переходам второго рода даже в случае короткодействующих взаимодействий вследствие эстафетного механизма передачи корреляций.

Фазовые переходы второго рода при отталкивании ближайших соседей на квадратной решетке воспроизводятся в квазихимическом приближении [1].

Ранее было исследована временная релаксация параметра порядка в решеточных системах с отталкиванием ближайших соседей [4]. В данной работе исследуется пространственная релаксация параметра порядка.

При учете только парных взаимодействий гамильтониан системы может быть записан в виде

$$H_N = \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N J_{ij} n_i^\alpha n_j^\beta, \quad (1)$$

где n_i^α , n_j^β – числа заполнения узлов, соответствующих различным подрешеткам ($n_i^{\alpha,\beta} = 1$ если узел i занят частицей и $n_i^{\alpha,\beta} = 0$ если он вакантен); J_{ij} – энергия взаимодействия частиц, расположенных в узлах i и j . В силу симметрии решетки число независимых констант, определяющих взаимодействие, можно существенно сократить, если ввести обозначение $J_k = J_{ij}$ для энергии взаимодействия частиц на узлах i и j , являющихся соседями k -го порядка ($k = 1, 2, \dots$ для ближайших, вторых и т. д. соседей). В случае решеточной системы с отталкиванием ближайших соседей $J_1 = J > 0$ и $J_k = 0$ для $k \geq 2$. Средние значения чисел заполнения задаются соответствующими решеточными концентрациями c_i^A и c_i^B , соответствующими различным подрешеткам.

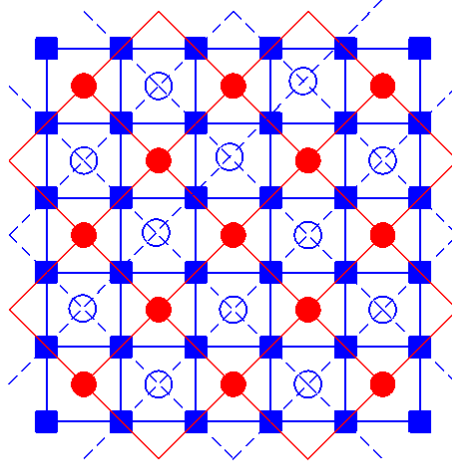
Параметр порядка определяется выражением

$$\delta c_i = (c_i^A - c_i^B) / 2. \quad (2)$$

Для моделирования рассматриваемой системы по методу Монте-Карло случайным образом выбирается подвижная частица, занимающая ячейку i . Затем случайным образом определяется направление ее возможного перехода в один соседних узлов. Если число заполнения ячейки-приемника j оказывается равным 1, то переход считается невозможным. Тем не менее, попытка этого перехода учитывается. Если число заполнения ячейки-приемника равно 0, то переход принимается с вероятностью, определяемой соотношением

$$w_{ij} = \exp(J(z - z_{\max}) / k_B T), \quad (3)$$

где z – число ближайших соседей выбранного узла, $z_{\max} = 3$ – максимальное возможное число ближайших соседей прыгающей частицы (вводится для нормировки максимальной возможной вероятности на единицу), k_B – постоянная Больцмана, T – температура.



**Рисунок 1 – Разбиение решетки на систему из двух подрешеток
Квадраты соответствуют атомам кристаллической поверхности, светлые и темные круги – узлам подрешеток.**

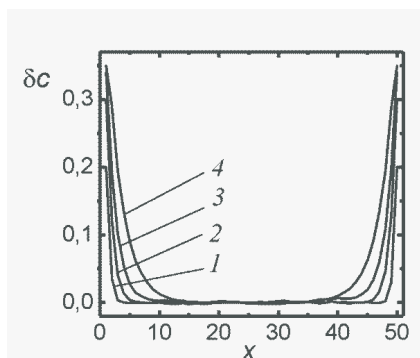
Упорядоченная фаза соответствует случаю, когда концентрация на подрешетках неодинаковая

Далее генерируется равномерно распределенное случайное число p_r из диапазона $[0; 1]$, которое сопоставляется с w_{ij} . Если $w_{ij} \geq p_r$, то переход считается произошедшим, если $w_{ij} < p_r$, то переход отклоняется. Повторение описанной процедуры L раз (равному числу частиц) формирует один шаг алгоритма Монте-Карло (МКШ). На процесс эквilibризации отводилось 1000 МКШ.

Моделировалась система, в которой начальное распределение концентрации не соответствует равновесному, т. е. в неупорядоченной фазе значение параметра порядка задавалось максимально возможным, а в упорядоченной – нулю. В дальнейшем в первом и последнем слоях параметр порядка сохранял указанные значения. В вертикальном направлении на систему накладывались периодические граничные условия.

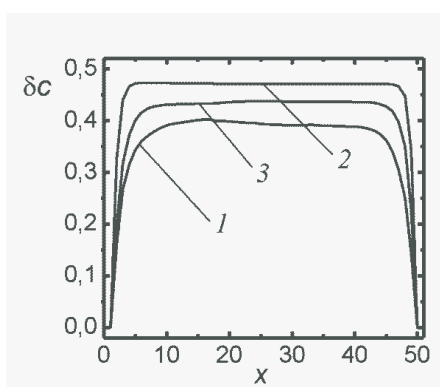
На рисунках 2 и 3 показано распределение параметра порядка в системе.

Как видно из рисунков на краях системы существуют релаксационные области (слои со значением параметра порядка отличным от равновесного).



$c = 0,20$ (1), $0,25$ (2); $0,30$ (3); $0,65$ (4)

Рисунок 2 – Распределение параметра порядка в неупорядоченной фазе при температуре 0,8 в единицах критической и средней концентрации в системе



$c = 0,45$ (1), $0,50$ (2); $0,55$ (3)

Рисунок 3 – Распределение параметра порядка в упорядоченной фазе при температуре 0,8 в единицах критической и средней концентрации в системе

При этом ширина релаксационных областей растет вместе со средней концентрацией в системе, что может быть обусловлено увеличением корреляционных эффектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вихренко В.С., Грода Я.Г., Бокун Г.С. Равновесные и диффузионные характеристики интеркаляционных систем на основе решеточных моделей: монография. – Минск: БГТУ, 2008. – 326 с.
2. Ласовский Р. Н., Бокун Г. С., Вихренко В. С. Концентрационная кинетика интеркаляционных систем // Электрохимия. 2010. Том 46, № 4. С. 411–422.
3. Kutner R., Binder K., Kehr K. W. Diffusion in concentrated lattice gases. V. Particles with repulsive nearest-neighbor interaction on the face-centered-cubic lattice // Phys. Rev. B. 1983. Vol. 28. P. 1846–1858.
4. Бокун Г.С., Ласовский Р.Н., Вихренко В.С. Кинетика структурных превращений в решеточной системе // Труды БГТУ. Серия VI, Физико-математические науки и информатика. Минск : БГТУ, 2008. Вып. XVI. С. 35–38.

УДК 539.213.2

А.В. Мисевич¹, доц., канд. физ.-мат. наук; А.Н. Лаппо¹, ассист.;
В.К. Долгий², доц., канд. физ.-мат. наук
¹(БГТУ, г. Минск), ²(БГАТУ, г. Минск)

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕНСОРНОЙ МДП-СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ФТАЛОЦИАНИНА МЕДИ И ОКСИДА ИНДИЯ

Одним из перспективных направлений разработки химических сенсоров с высокой чувствительностью, селективностью и стабильностью является формирование сенсорного элемента в виде тонкопленочного полевого транзистора, представляющего собой МДП-структуру, в которой сенсорным слоем может быть как полупроводник, так и диэлектрик [1, 2]. Цель исследования – разработать методы получения и экспериментально исследовать электрические и сенсорные свойства органо-неорганических МДП-структуры, включающих слои металла, фталоцианина меди (CuPc) и оксида индия (In_2O_3).

Органо-неорганическая МДП-структура, включающая слои золота, фталоцианина меди и оксида индия, представляет собой тонкопленочный полевой транзистор, схематичное изображение которого представлено на рисунке 1.

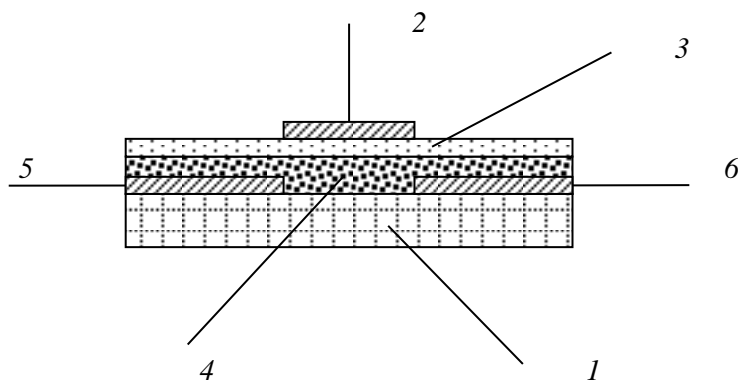


Рисунок 1 – Сенсорная МДП-структура золото/фталоцианин меди/оксид индия в виде тонкопленочного полевого транзистора:

**1 – подложка из слюды; 2 – управляющий золотой электрод (затвор);
3 – слой диэлектрика (фталоцианин меди); 4 – полупроводниковый слой (оксид индия); 5, 6 – платиновые электроды исток и сток**

Для получения МДП-структуры на свежесколотую поверхность кристалла слюды методом магнетронного распыления на постоянном токе осаждались платиновые электроды исток и сток толщиной ~ 20 нм. Далее на слюдяной подложке формировался полупроводниковый слой оксида индия In_2O_3 толщиной ~ 50 нм. Для этого сначала методом магнетронного распыления на постоянном токе осаждалась

тонкая пленка индия, а потом методом окисления в электрической муфельной печи синтезировалась тонкая пленка оксида индия. Поверх слоя оксида индия методом термического распыления в вакууме осаждался слой фталоцианина меди толщиной ~ 100 нм, который выполнял в транзисторе роль подзатворного диэлектрика. Затем методом термического распыления в вакууме осаждался золотой электрод, который является управляющим электродом, т. е. затвором полевого транзистора. Оксид индия, являющийся оксидным полупроводником *n*-типа, выступает в роли канала проводимости (длина канала 100 ± 10 мкм, а ширина – около 10 мкм). Фталоцианин меди – это органический полупроводник *p*-типа, удельная проводимость которого на несколько порядков меньше удельной проводимости оксида индия, что позволяет использовать его в качестве подзатворного диэлектрика. Такая последовательность изготовления и конфигурация слоев МДП-структуры позволяет избежать в процессе высокотемпературного окисления индия деструкции фталоцианинового слоя. Кроме того, верхнее расположение слоя фталоцианина меди облегчает доступ к нему газообразных компонентов. Отсутствие в данной МДП-структуре слоев недостаточно устойчивых к нагреванию позволяет производить электрические измерения при температурах вплоть до 200°C.

На рисунке 2 представлены выходные характеристики транзистора, измеренные в воздухе при различных значениях потенциала на затворе. Участки насыщения, наблюдаемые на вольтамперных характеристиках, свидетельствуют об образовании в канале проводимости транзистора области положительного пространственного заряда. При отрицательном относительно истока потенциале затвора сила выходного тока транзистора мала и слабо зависит от потенциала затвора.

Из представленных на рисунке 3 температурных зависимостей силы тока насыщения транзистора следует, что сила тока насыщения в присутствии кислорода воздуха ниже, чем при измерениях в вакууме, причем температурная зависимость силы тока насыщения в воздухе и в вакууме характеризуется разными энергиями активации: для воздуха – 10 мэВ при увеличении температуры в процессе измерения и 16 мэВ при снижении, а для вакуума – 6 и 8 мэВ, соответственно. Показано, что обнаруженный рост выходного тока транзистора, связанный с уменьшением концентрации адсорбированного кислорода, обусловлен тем, что адсорбированный кислород образует в оксиде индия центры рассеяния носителей заряда, и уменьшение его концентрации приводит к увеличению подвижности носителей заряда. Кроме того, снижение концентрации адсорбированного кислорода изменяет свойства

фталоцианина меди таким образом, что объемный положительный электрический заряд в слое оксида индия на границе раздела с фталоцианином меди уменьшается, что приводит к росту силы тока через канал транзистора.

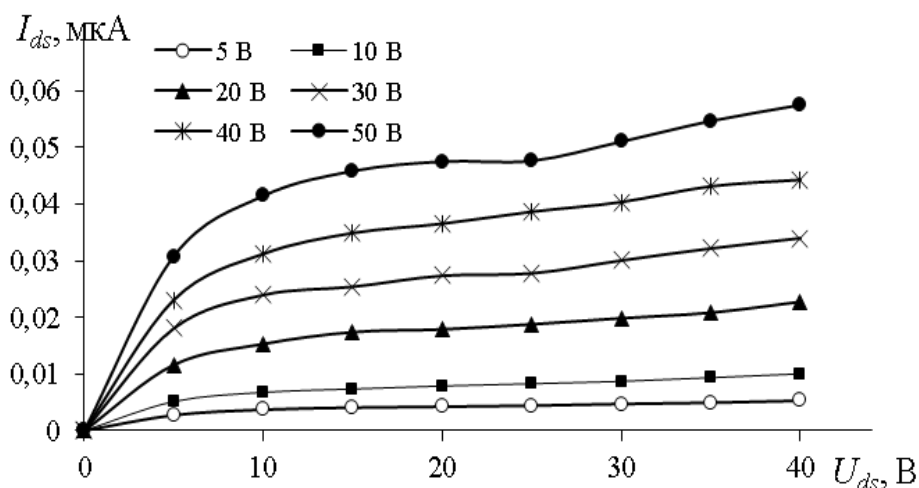


Рисунок 2 – Выходные (стоковые) характеристики тонкопленочного полевого транзистора с диэлектриком на основе фталоцианина меди и полупроводниковым слоем на основе оксида индия, измеренные в воздухе при различных значениях потенциала на затворе.

По горизонтальной оси отложено напряжение между стоком и истоком, а по вертикальной – выходной ток транзистора

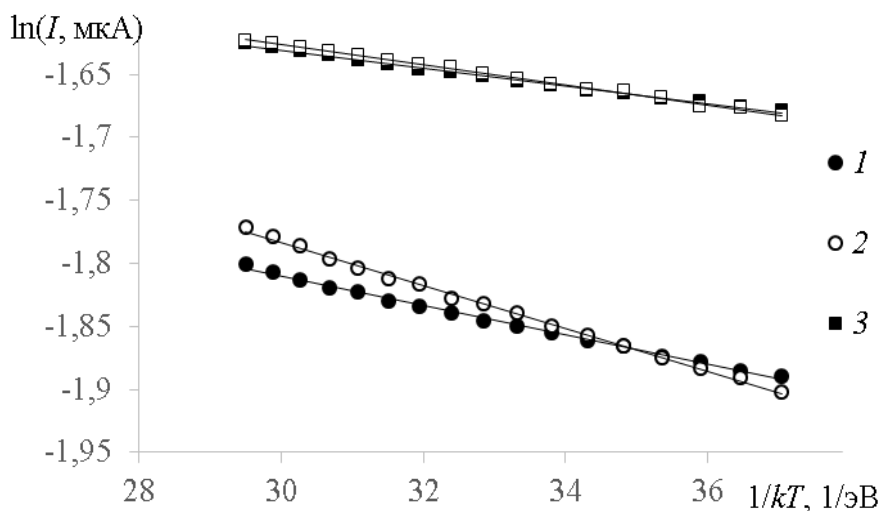


Рисунок 3 – Температурные зависимости силы тока насыщения полевого транзистора с диэлектриком CuPc и полупроводниковым слоем In_2O_3 , измеренные в воздухе и вакууме при значении потенциала смещения затвора 30 В и разности потенциалов между стоком и истоком 30 В: измерения выполнены: 1, 2 – в воздушной среде; 3, 4 – в вакууме; 1, 3 – при нагревании; 2, 4 – при охлаждении

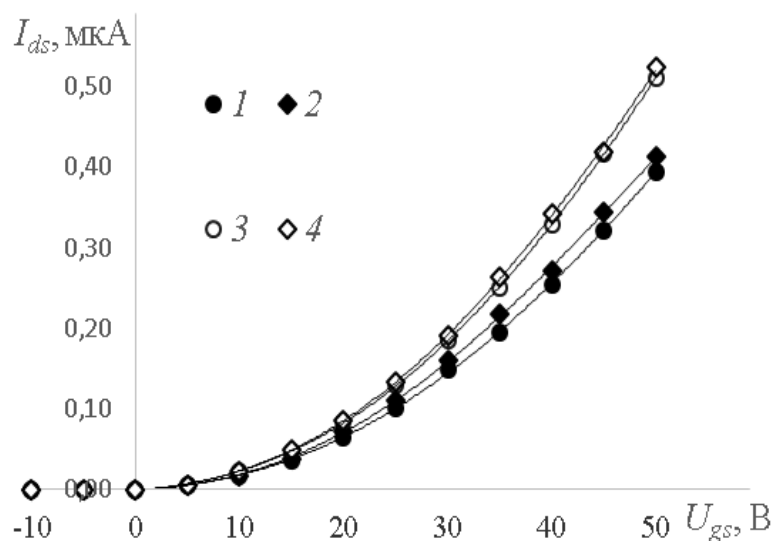


Рисунок 4 – Переходные характеристики тонкопленочного полевого транзистора с диэлектриком на основе фталоцианина меди и проводящим слоем на основе оксида индия, измеренные в воздухе (1, 2) и в вакууме (3, 4), при температуре 25°C (1,3) и 80°C (2, 4) при напряжении между стоком и истоком 30 В

Подача положительного потенциала на управляющий электрод тонкопленочного полевого транзистора, позволяет на три порядка (1000 раз) увеличить полезный токовый сигнал сенсора. Переходные характеристики, представленные на рисунке 4, показывают значительный рост выходного тока насыщения транзистора при увеличении положительного потенциала затвора. При этом температура измерения оказывает на результирующий выходной ток транзистора на много меньшее влияние, чем химический состав окружающей газовой среды (вакуум или воздух).

ЛИТЕРАТУРА

1. Wen Y. Liu Y. Recent Progress in n-Channel Organic Thin-Film Transistors. *Adv. Mater.* 2010. Vol. 22. P. 1331–1345.
2. Melville O.A., Lessard B.H., Bender T.P. Phthalocyanine-Based Organic Thin-Film Transistors: A Review of Recent Advances. *Appl. Mater. Interfaces.* 2015. Vol. 7. P. 13105–13118.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВ

В настоящее время для определения параметров электронного переноса в полупроводниках, таких как скорости поверхностной и объемной рекомбинации и длина диффузии носителей заряда, применяются бесконтактные методы с использованием излучений миллиметрового и видимого диапазонов [1. 2]. Методика на основе эффекта магнитного вращения миллиметровом диапазоне позволяет оценить такие параметры, как подвижность, эффективная масса носителей заряда и время релаксации. Значительную информацию о параметрах электронного переноса дает применение магнитоплазменного отражения. При определенных соотношениях между частотой зондирующей волны, циклотронной и магнитоплазменной частотами коэффициенты пропускания зондирующего излучения достигают своих экстремальных значений. Эти характеристические частоты зависят от концентрации и эффективной массы носителей заряда в полупроводнике, а также от взаимной ориентации вектора внешнего постоянного магнитного поля и волнового вектора зондирующего излучения.

Магнитоплазменная и циклотронная частоты, а также частота столкновений, определяющая время релаксации носителей, находятся в области частот, где все полупроводниковые материалы слабо поглощают излучение миллиметрового и дальнего ИК-диапазона. Изменение значений характеристических частот может достигаться варьированием внешних параметров – магнитной индукции, напряженности электрического поля, температуры полупроводника. Изменение этих параметров в значительных пределах обеспечивает возможность достижения резонанса путем зондирования на фиксированной частоте при параметрическом изменении характеристической частоты плазмы полупроводника.

В данной работе предложена методика определения эффективной массы полупроводникового образца из измерений пропускания на плазменной частоте. Изменение характеристической частоты достигается изменением повышенной концентрации в зоне проводимости исследуемого полупроводника путем облучения от вспомогательного источника (лазера) и изменением индукции внешнего магнитного поля. Концентрация носителей и плазменной частоты изменялась регулированием мощности источника фотовозбуждения. Когда плазмен-

ная частота и частота зондирующего излучения совпадают, коэффициент пропускания образца уменьшается, достигая минимального значения.

Если магнитное поле с индукцией B направлено вдоль распространения волны z , то для проекций электрического поля E_x и E_y на оси x и y :

$$\begin{aligned} \left(k^2 - \varepsilon \frac{\omega^2}{c^2}\right) E_x + i\mu_0\omega(\sigma_{xx}E_x + \sigma_{xy}E_y) &= 0, \\ \left(k^2 - \varepsilon \frac{\omega^2}{c^2}\right) E_y + i\mu_0\omega(-\sigma_{xy}E_x + \sigma_{xx}E_y) &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Решение (1) для дальней ИК-области ($\sim 10^{13} \text{ с}^{-1}$), дает величину сдвига магнитоплазменного отражения:

$$\Delta\omega = \omega^* - \omega_p = \mp \frac{1}{2} \omega_c, \text{ при условии } (\omega \mp \omega_c)\tau \ll 1 \quad (2)$$

где ω^* – частота максимального отражения (минимального пропускания) при отсутствии магнитного поля, ω_p и ω_c – соответственно плазменная и циклотронная частоты:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{ne^2}{\varepsilon\varepsilon_0 m^*}}, \quad \omega_c = \frac{eB}{m^*}, \quad (3)$$

m^* – эффективная масса, B – магнитная индукция, знаки в (2) соответствуют направлению поворота плоскости поляризации зондирующей волны (обеспечивается изменением направления магнитного поля).

Выражение аналогичное (2) для дальней ИК-области можно также получить и в случае если магнитное поле направлено перпендикулярно к направлению распространения волны.

Для зондирования использовались лазерные диоды, энергия квантов излучения которых не превышала ширины запрещенной зоны (для кремния использовался на GaAs, для германия – GaAlAs), частотный диапазон излучателей выбирался, исходя из условия (2). Интенсивность излучения, прошедшего через образец, измерялась охлаждаемой полупроводниковой термопарой. Магнитное поле в области образца, направленное перпендикулярно ионизирующему и зондирующему излучению, создавалось электромагнитом, обмотка которого питалась от регулируемого источника постоянного тока. Образец в виде квадратной пластинки со стороной 8 мм помещался в зазор электромагнита. Толщина пластинки 0,5 мм. Для фотовозбуждения пластины применялось излучение лазерного диода с длиной волны 0,808 мкм.

В качестве образцов использовались пластинки Si, Ge, InSb, GaAs. Плазменная частота образца изменялась регулированием кон-

центрации носителей заряда в зоне проводимости за счет изменения мощности фотовозбуждения. На рис. 1 представлена типичная зависимость коэффициента пропускания образца InSb (обладает малой эффективной массой) от мощности фотовозбуждения. В качестве зондирующего использовался источник с длиной волны 10,6 мкм (граничная длина волны края фундаментального поглощения InSb составляет 7,3 мкм).

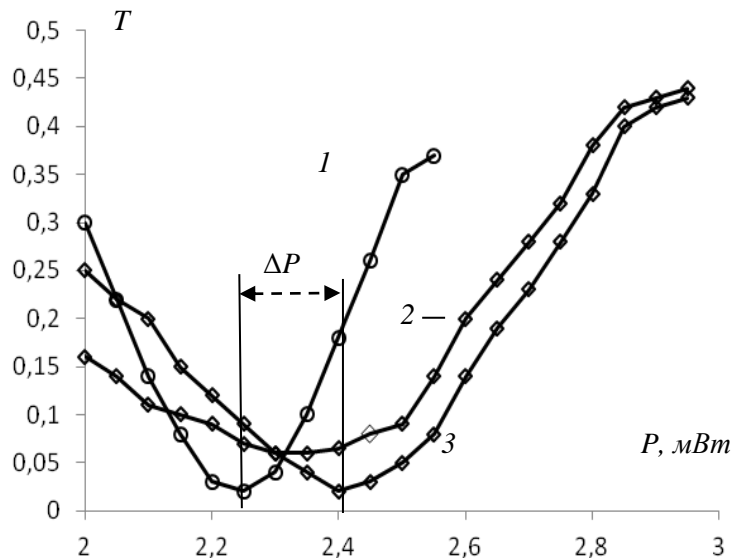


Рисунок 1 – Типичная зависимость коэффициента пропускания образца InSb от мощности фотовозбуждения (пропорциональна концентрации носителей): Кривые 1 и 3 соответствуют различным направлениям поворота плоскости поляризации при $B = 1,1$ Тл

Наблюдаемое смещение минимального пропускания в обе стороны вызвано включением магнитного поля противоположных направлений путем переключения направления тока в обмотках электромагнита. Смещение минимума влево соответствует увеличению ω_c согласно (2) и снижению частоты плазменного резонанса, который достигается при меньшей мощности. Смещения кривых в обоих направлениях соответствуют частотам резонанса для разных направлений магнитного поля. Дополнительные измерения показали, что абсолютная величина смещения мощности фотовозбуждения ΔP пропорциональна индукции магнитного поля. Наряду с этим, величина ΔP существенно зависит от типа исследуемого полупроводника. Смещение наблюдалось в образцах германия [111] и арсенида галлия в полях 1,5 и 1,6 Тл. В кремнии предполагается достичь резонанса в умеренных полях, если использовать образцы с малой эффективной массой (с ориентацией кристаллографической плоскости в направлении [100]).

Из формул (2) и (3) следует выражение для эффективной массы:

$$m = eB/2\Delta\omega. \quad (4)$$

Выражение для $\Delta\omega$ можно получить из равенства,

$$\Delta P = P_{min}(\Delta\omega/\omega_0), \quad (5)$$

где P_{min} – значение мощности фотовозбуждения, соответствующее минимальному пропусканию, ω_0 – частота излучения зондирующего лазера. Выразив $\Delta\omega$ из (5) и учитывая, что $\omega_0 = 2\pi c/\lambda_0$ (c – скорость света в вакууме), получим

$$m = \frac{eB\lambda_0}{4\pi c(\Delta P/P_{min})}. \quad (6)$$

Расчет по формуле (6) дает значение эффективной массы для InSb $0,015m_0$, близкое к ее циклотронному значению ($0,013m_0$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Palais O., Arcary A. Contactless measurement of surface recombination velocity in silicon wafers // J.Appl.Phys., 93, 4686 (2003).

2. Манухов В. В., Федорцов А. Б., Иванов А. С. Лазерно-интерференционный метод определения длины диффузии носителей заряда в полупроводниках // Физика и техника полупроводников. 2015. Т. 49, вып. 9. С. 1153–1158.

УДК 536.758

Е.В. Фарафонтова, доц., канд. физ.-мат. наук;
И.И. Наркевич, проф., д-р физ.-мат. наук;
А.А. Рогач, студ.; А.А. Кулеш, студ.
(БГТУ, г. Минск)

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ НА СФЕРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦАХ

Для исследования адсорбции на кристаллических наночастиц сферической формы используется ранее полученная замкнутая система интегральных и алгебраических уравнений, описывающая структурные и термодинамические характеристики неоднородных (гетерогенных) молекулярных систем. Она получена в рамках двухуровневого статистического метода [1], который основывается на совместном использовании метода коррелятивных функций Боголюбова – Борна – Грина – Кирквуда – Ивона (ББГКИ), метода условных коррелятивных функций Ротта [2] и метода термодинамических функционалов плотности. Эти уравнения устанавливают связь между микроскопическими параметрами системы взаимодействующих частиц (атомов или мо-

лекул) и макроскопическими характеристиками кристаллических наночастиц, находящихся в равновесии с флюидной средой, в частности в этой работе с газообразной окружающей средой при температуре ниже температуры тройной точки $\theta_{тр}$.

В двухуровневом статистическом методе используются потенциалы φ_{ij} средних сил [3], которые являются функционалами от дискретных полей чисел заполнения n_p ячеек метода условных распределений. Центры ячеек принадлежат координационным сферам с номерами p ($p = 1, 2, \dots, P_{nano}$) относительно центра сферической наночастицы. Для сферической наночастицы поле плотности неоднородной системы зависит только от радиуса r_p координационной сферы. Поэтому радиальный профиль чисел заполнения $n(r_p)$ определяем с помощью аппроксимирующей трехпараметрической функции с гиперболическим тангенсом [3], т. е.

$$n(r_p) = a - (a - n_\infty) \text{th}(\kappa \Delta x_p). \quad (1)$$

Здесь a и κ – вариационные параметры теории; параметр n_∞ – определяет значения чисел заполнения для жидкой либо газовой среды, находящейся в равновесии с кристаллической наночастицей; $\Delta x_p = r_p - r_{nano}$; r_{nano} – радиус кристаллической наночастицы.

Значения вариационных параметров a и κ находятся при найденном минимуме большого термодинамического потенциала $\Omega\{n_p\} = F\{n_p\} - \mu \sum Z_p n_p$ наночастицы, который является функционалом от радиального профиля чисел заполнения n_p (Z_p – число узлов, принадлежащей координационной сфере с номером p).

Полная замкнутая система интегральных и алгебраических уравнений для неоднородной системы решалась численно методом итераций с помощью модернизированной компьютерной программы в пакете MathCad, разработанной ранее [3]. Вариационный расчет параметров a и κ для профиля плотности (1) в окрестности сферической кристаллической наночастицы, находящейся в равновесии с газообразной окружающей средой проводился при температуре $\theta = 0,6 < \theta_{тр}$.

Структура сферической кристаллической наночастицы с числами заполнения $n = 0,999$ и с неоднородным радиальным профилем плотности в переходном слое описывается дискретными наборами чисел заполнения n_p , среднеквадратичных отклонений σ_p молекул от центров ячеек и радиусов b_p сфер, которые определяют области локализации унарных функций распределения в ячейках с номерами P_{nano} .

Минимум функционала $\Omega\{n_p\}$ определялся численно для наночастиц разных радиусов при заданных наборах значений параметров a и κ . Для примера на рис. 1 приведены зависимости большого термо-

динамического потенциала Ω от вариационного параметра a в интервале от 0 до 0,15 при заданных значениях параметра κ для наночастицы, содержащей 15 координационных сфер $P_{nano} = 15$. Радиус наночастицы $r_{nano} = 4,38$ в единицах линейного параметра σ потенциала Леннарда–Джонса.

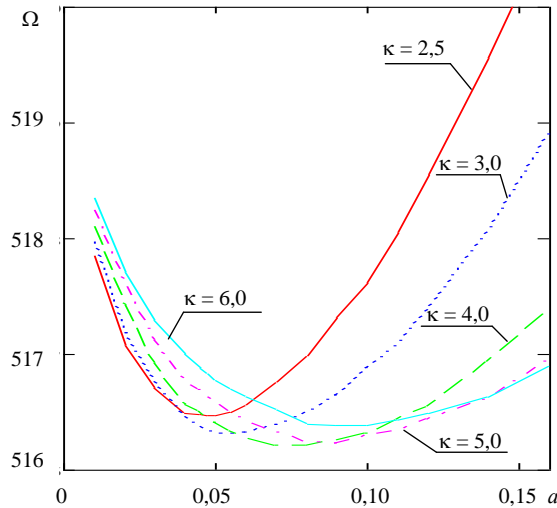


Рисунок 1 – Зависимости большого термодинамического потенциала Ω от вариационного параметра a при разных значениях параметра κ и $\theta = 0,6$ для наночастицы радиусом $r_{nano} = 4,38$

Из рис. 1 видно, что абсолютный минимум функционала $\Omega\{n_p\}$ реализуется при значениях $\kappa \approx 4,5$ и $a \approx 0,075$.

В случае кристаллической наночастицы с заданными числами заполнения ячеек $n \approx 0,999$ на ее границе образуется адсорбционный газообразный слой с повышенными значениями плотности. В объеме кристаллической наночастицы наблюдается постепенное увеличение среднеквадратичных отклонений σ_p от центра наночастицы к ее границе. Кроме этого происходит сдвиг узлов решетки в радиальном направлении, т. е. имеет место пространственная релаксация решетки.

В табл. 1 приведены значения вариационных параметров κ и a соответствующие минимуму большого термодинамического потенциала $\Omega\{n_p\}$ для наночастиц разных радиусов r_{nano} .

Таблица Значения вариационных параметров для наночастиц разных размеров

Радиус наночастицы r_{nano}	Число слоев наночастицы p_{nano}	Вариационный параметр κ	Вариационный параметр a	Число частиц в наночастице	Доля частиц в адсорбционном слое, %
2,45	5	5,5	0,100	79	2,5
3,47	10	5,3	0,085	201	1,5
4,38	15	4,5	0,075	381	1,3

Из таблицы видно, что с увеличением радиуса наночастицы минимум функционала $\Omega\{n_p\}$ определяется при меньших значениях вариационных параметров k и a , а отношение числа частиц в адсорбционном слое к числу частиц в наночастице уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наркевич И.И. Двухуровневый статистический метод описания неоднородных систем. Ч. 1. Симбиоз методов коррелятивных функций и термодинамических функционалов плотности: монография. Нордерштедт: LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2019. 114 с.

2. Ротт Л.А. Статистическая теория молекулярных систем. М.: Наука. 1979. 280 с.

3. Комплексный статистико-вариационный расчет термодинамических и структурных характеристик гетерогенной системы «кристаллическая наночастица – однородная газовая среда» / И. И. Наркевич [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и информатика. 2021. № 2 (248). С. 33–40.

УДК 536.758

И.И. Наркевич, проф., д-р физ.-мат. наук;
Е.В. Фарафонтова, доц., канд. физ.-мат. наук
(БГТУ, г. Минск)

ПРИМЕНЕНИЕ ИДЕИ О СОКРАЩЕННОМ ОПИСАНИИ ФЛУКТУАЦИЙ ПОЛЯ ПЛОТНОСТЕЙ В РАМКАХ ДВУХУРОВНЕВОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА

С помощью двухуровневого статистического метода ранее было проведено исследование структуры и термодинамических характеристик сферических кристаллических наночастиц, находящихся в равновесии с газообразной окружающей средой. Полученные результаты указывают на возможность описания флуктуаций поля плотности с помощью двухуровневого метода.

В настоящее время существует несколько научных направлений в изучении флуктуаций плотности. Один из них – это феноменологическая теория Ландау, которая использует эффективный гамильтониана системы [1] используя следующие разложения:

а) разложение параметра порядка по степеням с учетом градиентного слагаемого;

б) разложение поля плотности в ряд Фурье по пространственным гармоникам (с разными волновыми числами).

Именно это разложение использовал Бразовский С.А. для пред-

сказания принципиальной возможности перехода однородной фазы в неоднородное (слоистое) состояние [2]. Этот фазовый переход обнаружен в коллоидных системах и статистически обоснован при использовании потенциала SALR (притяжение на малых расстояниях и отталкивание на больших расстояниях) между коллоидными частицами [3]:

$$U(r) = 4(r^{-12} - r^{-6}) + Ar^{-1}e^{-\alpha r}. \quad (1)$$

Другим подходом к изучению флуктуаций плотности является статистический метод на основе выражения для термодинамического потенциала Ω , полученного в рамках двухуровневого статистического метода [3].

Ранее была сформулирована и опубликована [4] идея о сокращенном описании флуктуаций с последующим введением коррелятивных функций для элементарных флуктуаций плотности (ЭФП):

а) введены потенциалы взаимодействия ЭФП со средой ($\Psi(x_i)$) и между собой ($\Psi(x_i, x_j)$) и т. д.

б) потенциал Ω , как функционал поля плотности разложен по одночастичным $\Psi(x_i)$, двухчастичным $\Psi(x_i, x_j)$ и т. д. потенциалам взаимодействия:

$$\Omega\{\rho_l\} = \Omega\{\rho_{\text{нб}}\} + \sum_{i=1}^M \Psi_1(x_i) + \sum_{i<j}^M \Psi_2(x_i, x_j) + \sum_k^M \Psi_3(x_i, x_j, x_k); \quad (2)$$

в) потенциалы ЭФП выражены через соответствующие потенциалы $\tilde{\Omega}$:

$\Psi_1(x_i) = \tilde{\Omega}(x_i) -$ флуктуационная часть потенциала системы с одной ЭФП,

$$\Psi_2(x_i, x_j) = \tilde{\Omega}(x_i, x_j) - \tilde{\Omega}(x_i) - \tilde{\Omega}(x_j);$$

$$\Psi_3(x_i, x_j, x_k) = \tilde{\Omega}(x_i, x_j, x_k) - \tilde{\Omega}(x_i, x_j) - \tilde{\Omega}(x_j, x_k) - \tilde{\Omega}(x_i, x_k);$$

г) введены коррелятивные функции для одной $W_1(x_i)$, двух $W_2(x_i, x_j)$ и т. д. ЭФП, для которых получена цепочка дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{\partial W_1}{\partial x_i} + \frac{1}{\theta} \frac{\partial \Psi_1}{\partial x_i} + \frac{1}{\theta} \sum \frac{\partial \Psi_2}{\partial x_i} W_2(x_i, x_j) dx_j &= 0; \\ \frac{\partial W_2}{\partial x_j} + \frac{1}{\theta} \frac{\partial \Psi_2}{\partial x_j} + \frac{1}{\theta} \sum \frac{\partial \Psi_3}{\partial x_j} W_3(x_i, x_j, x_k) dx_k &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Для практической реализации идеи о сокращенном описании поля флуктуаций составлена компьютерная программа в системе MathCad, которая позволяет рассчитывать потенциалы $\Psi(x_i)$ и $\Psi(x_i, x_j)$ с последующим решением системы (2) после обрыва на втором уравнении.

На рис. 1 изображены профили плотности для двух элементарных флуктуаций с противоположными знаками и их общий профиль, полученный по принципу суперпозиции.

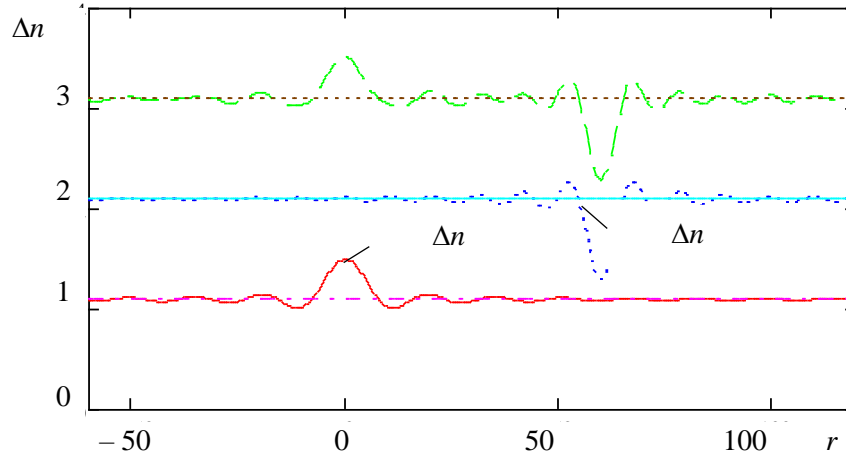


Рисунок 1 – Профили плотности для двух разноименных элементарных флуктуаций и их общий профиль

На рис. 2 представлен график зависимости потенциала $\Psi(x_i)$ от величины флуктуации плотности в элементарном объеме и одночастичная функция $W(x_i)$, построенная без учета взаимодействия с другими флуктуациями.

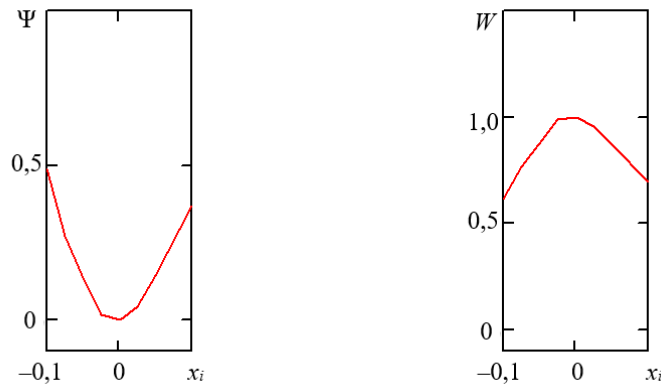


Рисунок 2 – Потенциал взаимодействия $\Psi(x_i)$ и функция распределения $W(x_i)$ элементарной флуктуации в газе с радиальным профилем плотности $n_s(r)$ с волновым числом $k = 3$ при температуре $\theta = 1,1$ и плотности газа $n_c = 0,1$

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. Пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. 5. Статистическая физика. Ч. 1. 5-е изд, стереот. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 616 с.
2. Brazovskii S.A. Sov. Phys. JETP. 1975. Vol.41, no 1. P. 85.
3. Наркевич И.И. Статическое обоснование предсказанного Бразовским перехода термодинамической системы из однородного состо-

нения в неоднородное // Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и информатика. 2019. № 2 (224). С. 28–33.

4. Narkevich I.I. Statistical theory of nonuniform systems and reduced description in the density fluctuation theory // *Physica A*. 1982 Vol. 112 A. P. 167–192.

УДК 539.1.06:539.23.234

В.В. Тульев, доц., канд. физ.-мат. наук
(БГТУ, г. Минск)

СОСТАВ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТРУКТУР Ti/Si И Co/Si, ПОЛУЧЕННЫХ ИОННО-АССИСТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ В ВАКУУМЕ

На образцы из кремния наносились покрытия на основе Ti и Co методом ионно-ассистируемого осаждения в вакууме. В часть кремниевых образцов был имплантирован ксеноновый маркер для установления границы раздела покрытие/подложка [1]. Осаждение покрытий осуществлялось при ускоряющих напряжениях 7 кВ и плотности ионного тока $\sim(4-5)$ мкА/см², время осаждения покрытий составляло 2 часа, средняя скорость нанесения покрытия находилась в пределах 0,2–0,5 нм/мин. Отношение плотности потока J_i ассистирующих ионов к плотности потока J_a нейтральных атомов составляло $J_i/J_a = 0,1-0,4$, что соответствует условию роста покрытия на подложке. 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. Определения содержания водорода в полученных Me/Si-структурах было проведено с помощью метода ядерных реакций (ЯР). Для этого использовалась резонансная ядерная реакция при взаимодействии ионов азота с водородом ${}^1\text{H}({}^{15}\text{N}, \alpha\gamma){}^{12}\text{C}$. Распределение водорода по глубине было определено при сканировании поверхности образцов пучком ионов N^+ с энергией, изменяющейся в интервале 6380–7000 МэВ через 10 кэВ в зависимости от толщины анализируемого слоя.

На рис. 1 представлен спектр РОР ионов гелия от образца из кремния с ксеноновым маркером до и после осаждения покрытия на основе Ti при одновременном облучении ионами Ti^+ . Вид спектра РОР от структуры Ti/(Si+Xe) позволяет сделать вывод о том, что в покрытии кроме атомов осаждаемого металла титана содержатся

атомы кислорода и углерода, которые являются технологическими примесями при использовании паромасляным диффузионным насосом и вводятся в покрытие в процессе его осаждения [2].

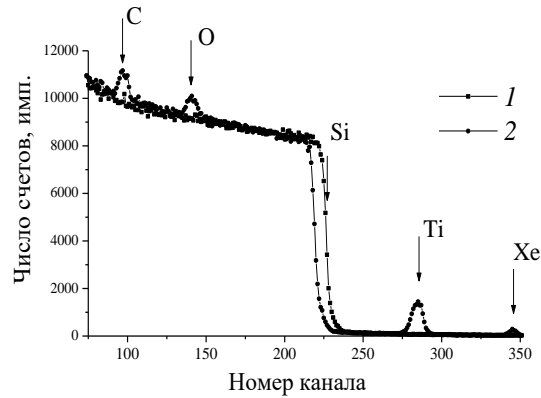
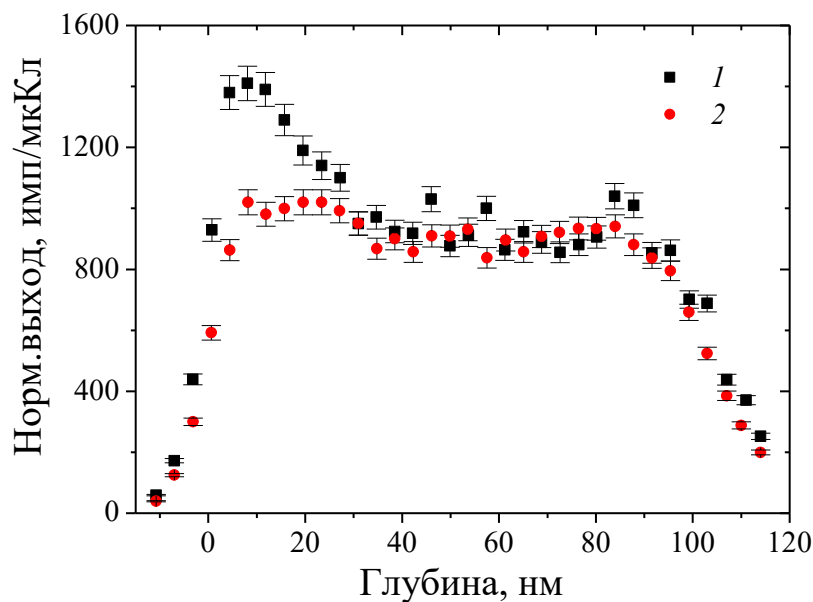
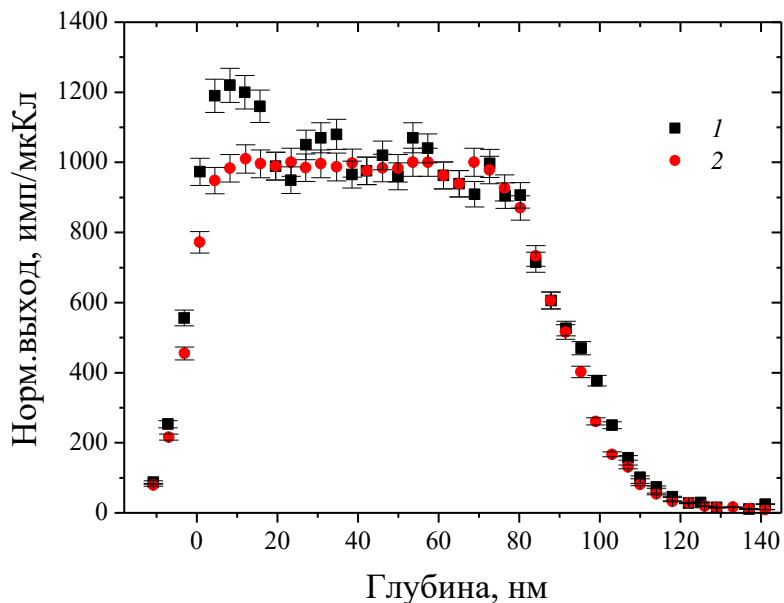


Рисунок 1 – Спектры РОР ионов гелия от образца кремния с Xe маркером до (1) и после осаждения покрытия на основе Ti (2)

Моделирование с применением компьютерной программы RUMP экспериментальных спектров РОР полученных для покрытий, сформированных в аналогичных условиях, показало наличие в сформированных структурах атомов водорода [3]. Для обнаружения атомов водорода в сформированных покрытиях были проведены эксперименты с применением метода ядерных реакций (ЯР) (рис. 2–3).



**Рисунок 2 – Распределение водорода по глубине в Ti/Si-структуре
1 – 1-е сканирование поверхности; 2 – 5-е сканирование поверхности**



**Рисунок 3 – Распределение водорода по глубине в Ti/(Si+Xe)-структуре
1 – 1-е сканирование поверхности; 2 – 5-е сканирование поверхности**

Результаты эксперимента подтверждают данные моделирования RUMP о наличии водорода в сформированных покрытиях. Причем в приповерхностных слоях исходных подложек кремния атомы водорода не были обнаружены. Это указывает на тот факт, что атомы водорода появляются в покрытии в процессе его осаждения. Источником водорода в покрытиях, как кислорода и углерода, также, на наш взгляд, является летучая фракция углеводородов вакуумного масла диффузионного паромасляного насоса. Анализируя экспериментальные профили распределения водорода по глубине в покрытиях, представленные на рис. 2 и 3, следует отметить, что атомы водорода содержится только в покрытиях, не входя в кремний, и его концентрация достаточно постоянная по всей толщине покрытия.

При последующих сканированиях поверхности полученных структур анализирующим пучком ионов азота слоевая концентрация атомов водорода в приповерхностном слое уменьшается в $\sim 1,1-1,4$ раза (рис. 2, 3). Уменьшение концентрации атомов водорода под воздействием анализирующего пучка ионов можно объяснить дегазацией атомов водорода, которые оказались не связанными или химически слабо связаны с другими атомами покрытия.

В таблице представлены экспериментальные данные по содержанию водорода в изучаемых структурах, полученных при одинаковом времени осаждения покрытия.

Количественные данные о концентрации водорода в изучаемых

структурах, приведенные в таблице, свидетельствуют, что при первом сканировании покрытия относительная концентрация водорода в покрытиях составляет ~15–16 ат. % (для структур с Хе маркером) и ~20 ат. % (для структур без Хе маркера).

Таблица – Содержание водорода в сформированных структурах (время осаждения покрытия 2 ч)

Структура	Номер сканирования	Глубина слоя, нм	n , ат/см ³	(Nt) , см ⁻²	C, ат. %
Ti/Si	1	125,7	$1,39 \cdot 10^{22}$	$1,50 \cdot 10^{17}$	19,89
	5		$1,12 \cdot 10^{22}$	$1,40 \cdot 10^{17}$	15,93
Co/Si	1	125,7	$1,41 \cdot 10^{22}$	$1,77 \cdot 10^{17}$	20,11
	5		$1,24 \cdot 10^{22}$	$1,56 \cdot 10^{17}$	17,73
Ti/(Si+Xe)	1	152,7	$1,05 \cdot 10^{22}$	$1,60 \cdot 10^{17}$	14,97
	5		$0,98 \cdot 10^{22}$	$1,50 \cdot 10^{17}$	14,04
Co/(Si+Xe)	1	152,7	$1,14 \cdot 10^{22}$	$1,75 \cdot 10^{17}$	16,38
	5		$0,81 \cdot 10^{22}$	$1,23 \cdot 10^{17}$	11,51

После пятого сканирования относительная концентрация водорода уменьшается в структурах Ti/Si на 4 ат. %, в Ti/(Si+Xe) на 1 ат. %, а в структурах Co/Si и Co/(Si+Xe) на 2 и 5 ат. % соответственно. Различие в поведении водорода в Ti/Si- и Co/Si-структурах под воздействием анализирующего пучка ионов говорит о различном количестве атомов водорода находящимся в составе химических соединений в сформированной структуре. Также следует отметить, что в структурах, которые содержали ксеноновый маркер концентрация водорода меньше, чем в структурах без него.

Исследование приповерхностных слоев Ti/Si- и Co/Si-структур, полученных ионно-ассистированным осаждением металлсодержащих покрытий, проведенных с применением методов РОР и ЯР показали, что сформированные покрытия содержат атомы осаждаемого металла (Co, Ti) и атомов технологических примесей (C, O), атомы водорода ~15–20 ат. %. Причем атомы водорода находятся только в осажденном покрытии. Источником водорода в покрытиях (как углерода и кислорода) является летучая фракция углеводорода вакуумного масла диффузионного паромасляного насоса. Часть атомов водорода, углерода и кислорода находится в несвязанном состоянии, о чем свидетельствует их выделение из покрытия под действием пучка ионов азота. Концентрация водорода уменьшается при повторных сканированиях образцов пучком анализирующих ионов, что связано с дегазацией атомов водорода, которые не связаны или химически слабо связанные с атомами покрытия. В покрытиях остается ~от 12 до 16 ат. % водорода в связанном состоянии. Наличие в исходных образцах атомов ксенона также влияет на содержание водорода в покрытии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изучение ядерно-физическими методами металлосодержащих (Ti, Co)-покрытий, осажденных методом ионного ассистирования на кремний / О.Г Бобрович [и др.] // Физика и химия обработки материалов. 2006, №1. С. 54–58.

2. Бобрович О.Г., Тульев В.В. Анализ композиционного состава и химических связей элементов металлосодержащих (Zr,W) покрытий // Физика. Известия высших учебных заведений. 2011, № 1/3. С. 350–354.

3. Тульев В.В., Ташлыков И.С. Изучение композиционного состава покрытий на основе Cr, Ti и Zr, сформированных на алюминии и кремнии методом ионно-ассистированного нанесения в условиях саморадиации // Труды IV Междунар. науч. конф. «Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах». Томск, 2004. С. 92–95.

УДК 543.423

Н.В. Тарасенко; А.В. Буцень²

¹(Институт физики НАН Беларуси); ²(БГТУ, г. Минск)

ЭМИССИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ПЛАЗМЫ В ЖИДКОСТИ

В последнее время большое внимание уделяется разработке методов синтеза и исследованию свойств наноразмерных частиц (НЧ) различных материалов. Интерес к таким объектам обусловлен их специфическими свойствами, привлекательными для многих практических применений.

Среди новых методов получения НЧ важное место принадлежит методу, основанному на импульсной лазерной абляции в жидкости

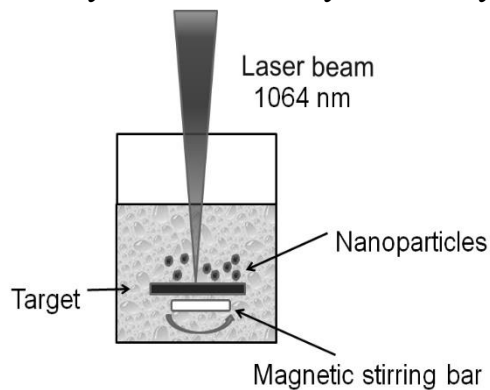


Рисунок 1 – Схема лазерной абляции в жидкости

(ИЛАЖ) [1], схема которого приведена на рис. 1. Наночастицы, образующиеся в результате лазерной абляции в жидкостях, свободны как от посторонних ионов, так и от поверхностно-активных веществ, что для ряда применений, например, в медицине, представляет несомненное преимущество. К достоинствам метода лазерной абляции относится также его универсальность (лазерная

абляция может применяться для металлов, полупроводников и диэлектриков различного состава), возможность регулирования характеристик синтезируемых частиц путем изменения параметров лазерного излучения, а также сравнительно легкое решение вопроса сбора наночастиц, проблематичного в случае лазерной абляции в вакууме. При абляции в жидкости наночастицы остаются в объеме жидкости, образуя коллоидный раствор.

В настоящей статье обобщены результаты исследований автора, направленные на формирование наночастиц контролируемого состава, структуры и размеров в лазерно-индуцированной плазме в жидкофазных средах, установление корреляций компонентного состава лазерно-эрозионной плазмы, параметров воздействующего лазерного излучения и свойств генерируемых структур, а также применение лазерного излучения для оптимизации условий роста и характеристик формируемых структур.

В качестве источника излучения использовался двухимпульсный ИАГ:Nd³⁺ лазер (LOTIS, LS2131D) с длительностью импульса 10 нс, частотой повторения импульсов 10 Гц, работающий на частоте основной гармоники (1064 нм). Временной сдвиг между лазерными импульсами (задержка) варьировался в диапазоне 0–120 мкс с минимальным шагом 1 мкс. Лазерное излучение фокусировалось на поверхность мишени, помещаемой в кювету с жидкостью. Плотность мощности лазерного излучения на поверхности мишени изменялась в пределах от 10^8 до $5 \cdot 10^9$ Вт/см². Методами регистрации изображений и эмиссионной спектроскопии выполнены экспериментальные исследования пространственно-временной структуры плазмы, формируемой при лазерной абляции в жидкости при использовании сдвоенных лазерных импульсов. На основе результатов спектроскопической диагностики определены параметры плазмы (температура и концентрация электронов, концентрация нейтральных атомов и радикалов) в зависимости от экспериментальных условий создания плазмы.

Основные особенности формирования пространственной структуры и временной эволюции лазерной плазмы, образуемой при использовании сдвоенных лазерных импульсов, связаны с тем, что второй лазерный импульс воздействует на мишень в присутствии продуктов лазерной абляции от первого импульса. В связи с этим наблюдается изменение, как динамики разлета, так и интенсивности излучения плазмы.

Несмотря на сложную пространственно-временную структуру, высокую плотность и неоднородность лазерно-индуцированной плазмы, спектроскопическая диагностика такой плазмы представляется

весьма информативной. На рисунке 2 представлены фрагменты интегрального по времени спектра лазерного факела, полученного при одно- и двухимпульсной абляции медной мишени в воде при различных временных задержках между лазерными импульсами. В спектре плазмы после одиночного импульса преобладает сплошное излучение. Сплошной спектр испускания определяется такими процессами, как фотоионизация, радиационная рекомбинация и обратный тормозной процесс. Следует отметить, что, как показали разрешенные во времени измерения, эмиссионный сигнал исчезал в течение нескольких сотен наносекунд вследствие быстрого охлаждения плазмы. Интенсивный сплошной спектр доминирует также в эмиссионном спектре, полученном при двухимпульсной абляции при коротких задержках окна регистрации. С увеличением времени задержки в двухимпульсном режиме абляции начинают появляться отдельные спектральные линии атомов материала мишени. Представленные на рисунке 2 спектры и отражают временную эволюцию лазерно индуцированной плазмы. Увеличение временной задержки между импульсами позволяет по характеру изменения спектра излучения плазмы установить временные рамки эволюции газового пузыря в жидкости. В нашем эксперименте наиболее интенсивный спектр регистрировался при задержках между импульсами, превышающих 150 мкс, так что время расширения газового пузыря составляет сотни микросекунд. Эти результаты находятся в соответствии с результатами измерений других авторов.

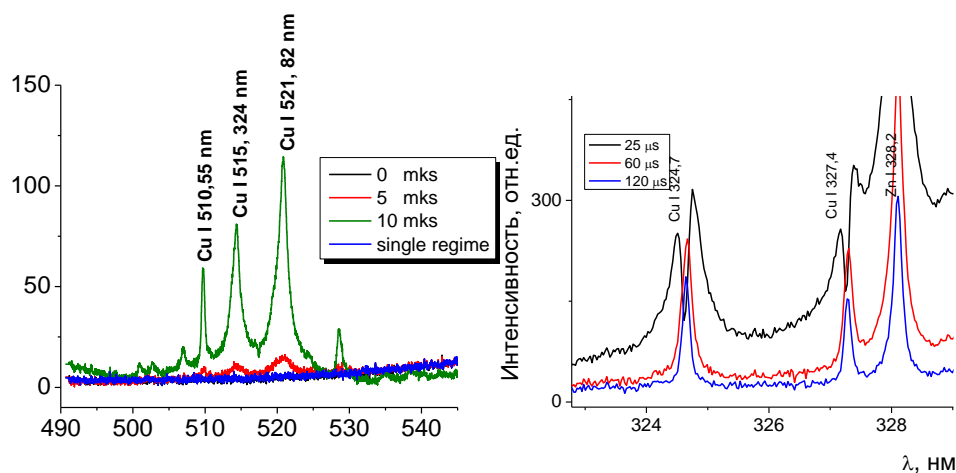


Рисунок 2 – Фрагменты интегрального по времени спектра лазерной плазмы медной мишени, полученного при одно- (1) и двухимпульсной абляции медной мишени в воде при различных временных задержках между лазерными импульсами

Четкие эмиссионные линии атомов меди по сравнению с одноимпульсным режимом обусловлены тем, что второй импульс индуцирует плазму внутри газового пузыря, образованного в результате

распада плазмы первого импульса. После первого импульса плазма расширяется и рекомбинирует, ее электронная плотность уменьшается со временем. Второй лазерный импульс проходит через относительно разреженную среду и поэтому эффективнее взаимодействует с поверхностью. Это приводит к увеличению сигнала вследствие как увеличения количества испаренного материала мишени, так и более однородного распределения плотности и температуры в результирующей плазме.

Таким образом, в результате выполненных исследований продемонстрировано, что метод лазерной абляции в жидкости обеспечивает получение наноразмерных частиц металлов и их химических соединений, морфология и состав которых зависят как от сорта растворителя, так и параметров лазерного излучения.

На основе спектроскопической диагностики плазмы, создаваемой при воздействии лазерных импульсов на поверхность металлической мишени в жидкости, выяснена пространственная структура и временной диапазон излучения лазерно-индуцированной плазмы, определен ее компонентный состав, необходимый для оптимизации процесса синтеза наночастиц, так как параметры лазерно-индуцированной плазмы определяют характер протекания процессов зарождения и роста наночастиц при ее распаде.

Показано, что использование двухимпульсного режима позволяет повысить скорость формирования наночастиц и усилить эмиссионный сигнал атомов и ионов плазмы за счет более эффективной абляции материала мишени.

Установлены особенности пространственно-временной эволюции лазерной плазмы, формируемой при использовании одиночных и сдвоенных лазерных импульсов, заключающиеся в изменении, как динамики разлета, так и интенсивности испускания плазмы по сравнению с одноимпульсным режимом. Показано, что размеры и время жизни плазмы в жидкости в несколько раз меньше по сравнению с аналогичными параметрами плазмы в воздухе, что связано с ограничением возможности расширения плазменного факела со стороны окружающей жидкости, оказывающей существенное влияние на термодинамические и кинетические характеристики факела и протекание процессов конденсации в нем. Понимание закономерностей эволюции лазерной плазмы позволяет сделать оптимизацию условий лазерного синтеза наночастиц более эффективной.

Таким образом, на основе спектроскопической диагностики плазмы, создаваемой при воздействии лазерных импульсов на поверхность металлической мишени в жидкости, выяснена пространственная структура и временной диапазон излучения лазерно-индуцированной плазмы, определен ее компонентный состав, необходимый для опти-

мизации процесса синтеза наночастиц, так как параметры лазерно-индуцированной плазмы определяют характер протекания процессов зарождения и роста наночастиц при ее распаде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасенко Н.В., Буцень А. В. Лазерный синтез и модификация композитных наночастиц в жидкостях // Квантовая электроника. Т. 40, № 11 (2010). С. 986–1003.

УДК 621.793:539.234:539.534.9

В.В. Поплавский¹, доц., канд. физ.-мат. наук;
А.Н. Дробов², науч. сотр.; И.Л. Поболь², доц., д-р. техн. наук;
И.П. Смягликов², канд. техн. наук;
С.В. Гусакова³, канд. физ.-мат. наук
¹(БГТУ, г. Минск), ²(ФТИ НАН Беларуси, г. Минск); ³(БГУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СОСТАВА СЛОЕВ, СФОРМИРОВАННЫХ В ПРОЦЕССАХ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВА ТИТАНА

Сплавы титана обладают уникальными свойствами, благодаря сочетанию низкой плотности, высокой прочности и жесткости, ударной вязкости и коррозионной стойкости. Вместе с тем низкая поверхностная твердость и недостаточная износостойкость титана и его сплавов ограничивает использование материалов в узлах и деталях, функционирующих в условиях контактного взаимодействия, что требует модифицирования поверхности с целью улучшения ее механических свойств [1].

Вследствие образования на поверхности металла и его сплавов оксидной пленки в атмосферных условиях, а также пассивации в растворах электролитов без приложения потенциала титан обладает высокой коррозионной стойкостью. Этим обусловлено применение титана в качестве электродного материала в прикладной электрохимии, чаще всего в качестве основы так называемых малоизнашиваемых анодов [2]. Титановые сплавы применяются также для изготовления токовых коллекторов (биполярных пластин) топливных элементов и электролизеров получения водорода с полимерным мембранным электролитом [3]. При использовании в качестве электролита перфторированной мембраны типа Nafion, материал которой представляет собой фторуглеродный полимер, содержащий сульфогруппы [4], в условиях работы топливного элемента рабочие поверхности токовых коллекторов, контактирующие с мембранно-электродным блоком, подвержены электрохимической коррозии вследствие достаточно высокой агрес-

сивности среды, содержащей анионы SO_4^- и F^- [3–5]. Для достижения оптимального функционирования таких устройств требуется модифицирование поверхности сплавов путем формирования коррозионно-устойчивых слоев.

Наиболее перспективным подходом при этом является применение для обработки поверхности ионно-плазменных технологий, способных обеспечить возможность существенного повышения эксплуатационных качеств конструкционных и функциональных материалов без изменения структуры и свойств объема.

В работе представлены результаты исследований микроструктуры и состава слоев, полученных в процессах ионно-плазменной обработки поверхности сплава титана ВТ1-0. Модифицирование поверхности образцов проведено с применением трех различных процессов ионно-плазменной обработки:

- азотированием в плазме тлеющего разряда, возбуждаемого в атмосфере газовой смеси, состоящей из 90% Ar и 10% N_2 , с целью получения нитридных слоев;

- ионно-плазменным осаждением хромсодержащих слоев из катодно-дуговой эрозионной плазмы в атмосфере азота для получения слоев нитрида хрома или диоксида углерода – для получения слоев оксикарбида хрома;

- легированием поверхности сплава посредством ионно-ассистируемого осаждения металлов из плазмы вакуумного дугового разряда.

Исследование микроструктуры и состава формируемых слоев проведено методами сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионного микроанализа (микроскоп LEO 1455 VP (Karl Zeiss Group) и кремний-дрейфовый спектрометр AZtec Energy Advanced X-Max80 (Oxford Instruments)). Послойный элементный анализ проводился на оптико-эмиссионном спектрометре GD-Profilер 2 (Horiba); рентгенофазовый анализ – с применением рентгеновского дифрактометра ДРОН-3.

Электронно-микроскопические исследования показывают, что микроструктура покрытий, получаемых ионно-плазменным осаждением, зависит от состава и существенно различается для нитридных (рис. 1, б) и оксикарбидных (рис. 1, в) слоев. Морфология слоев, сформированных в процессе ионно-плазменного азотирования (рис. 1, а) и ионно-ассистируемого осаждения металла (рис. 1, г), воспроизводит микроструктуру самой подложки. На поверхности слоев, полученных с включением в состав плазмы металла, имеются осажденные капли металла, в частности хрома (рис. 1, б, в, г).

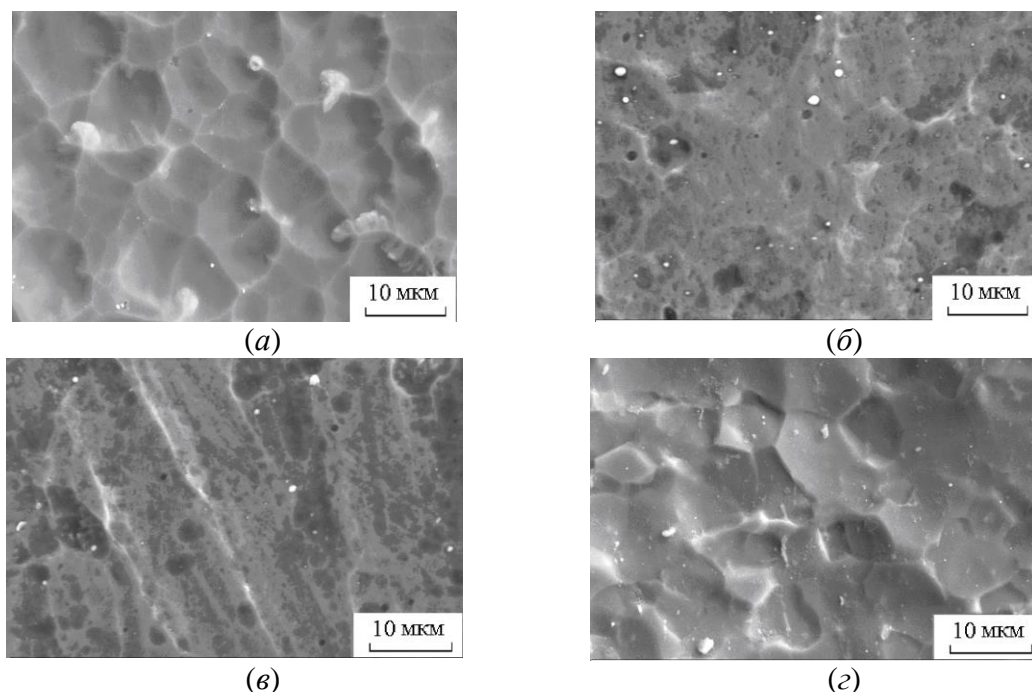


Рисунок 1 – Электронно-микроскопические изображения образцов сплава ВТ1-0 с поверхностными слоями, полученными в процессах: ионно-плазменного азотирования (а); ионно-плазменного осаждения нитрида хрома (б) и оксикарида хрома (е); ионно-ассистированного осаждения хрома (з)

Сведения об элементном составе исследуемых слоев приведены в таблице 1. По данным энергодисперсионного анализа в состав плазменно-азотированного слоя (TiN/Ti) входят титан, азот, углерод, кислород и аргон. Содержание титана и азота близко к стехиометрическому составу нитрида TiN. Распределены компоненты слоя по площади поверхности практически равномерно. В составе формируемых ионно-плазменным осаждением покрытий из нитрида и оксикарида хрома наряду с компонентами покрытий (Cr, N, C, O) содержится значительное содержание материала титановой подложки.

В процессе ионно-плазменного азотирования важную роль играет температура процесса. На рисунке 2 приведены результаты оптико-эмиссионного анализа распределения азота и кислорода по глубине азотированного слоя сплава. Кислород в составе модифицируемой поверхности распределен только в тонком приповерхностном слое, и его распределение слабо зависит от температуры (рис. 2, а).

Влияние температуры процесса на распределение по глубине азота намного сильнее. При 650°C азот сконцентрирован в слое толщиной около 2 мкм; при 850°C имеет место диффузия атомов азота до глубины ~20 мкм (рис. 2, б).

Таблица 1 – Элементный состав поверхности образцов сплава ВТ1-0 со слоями, полученными в процессах: ионно-плазменного азотирования при 830°C (TiN/Ti); ионно-плазменного осаждения нитрида хрома (CrN/Ti) и оксикарбида хрома (CrCO/Ti); ионно-ассистируемого осаждения хрома (Cr⁺/Ti)

Образец	TiN/Ti	CrN/Ti	CrCO/Ti	Cr ⁺ /Ti
Элемент	Содержание, масс. %			
Ti	72,9	43,0	25,2	78,5
O	3,1	–	28,3	8,6
N	18,3	11,9	–	–
C	5,2	3,7	10,7	11,6
Ar	5,2	–	–	–
Cr	–	41,3	35,8	1,3

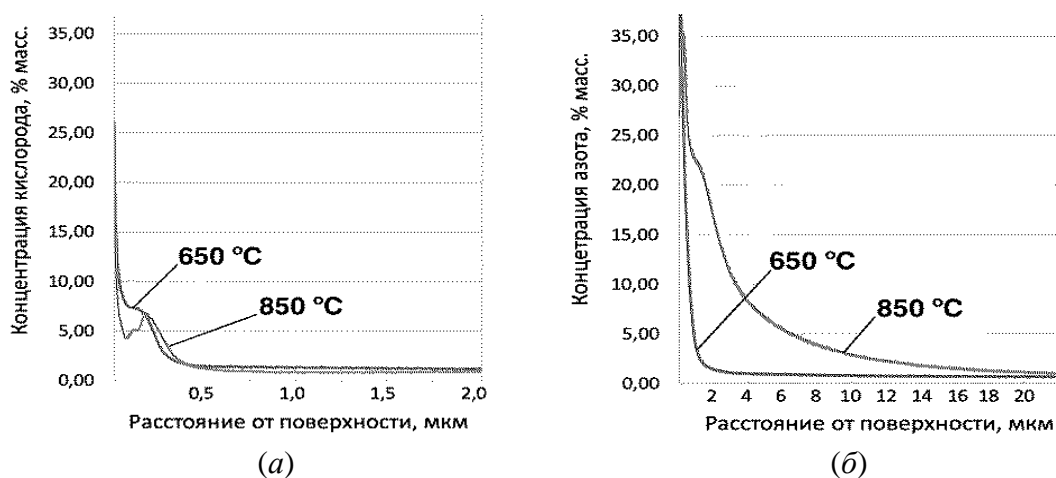


Рисунок 2 – Распределение кислорода (а) и азота (б) в приповерхностном слое сплава ВТ1-0 после ионно-плазменного азотирования при температурах 650°C и 850°C

По данным рентгенофазового анализа (таблица 2) в процессе ионно-плазменного азотирования поверхности при невысоких температурах (до 700°C) формируются преимущественно оксидные фазы. При повышении температуры (> 800°C) возрастает диффузионная подвижность азота и преобладает процесс образования нитридных фаз.

Таблица 2 – Фазовый состав поверхности образцов сплава ВТ1-0 со слоями, полученными в процессе ионно-плазменного азотирования при различных температурах

Температура процесса, °C	Содержание фаз, %					
	Ti	Ti ₆ O	Ti ₃ O	TiO ₂	Ti ₂ N	TiN
650	18,9	79,9	–	1,2	–	–
700	–	69,1	–	–	30,9	–
750	–	72,2	20,7	–	7,2	–
800	–	69,7	–	–	30,3	–
850	–	–	–	–	82,1	17,9

Процесс формирования легированных металлами слоев путем их ионно-ассистированного осаждения из плазмы вакуумного дугового разряда осуществляется при комнатной температуре, обеспечивает формирование наноразмерных (~100 нм) многокомпонентных слоев с небольшим содержанием осаждаемого металла и отличается одностадийностью. Ионно-плазменное осаждение хромсодержащих слоев кроме предварительной подготовки подложек осуществляется в несколько этапов, включающих ионное травление, нанесение подслоя хрома и осаждение металлсодержащего слоя в соответствующей атмосфере. Толщина исследуемых слоев составляла ~2 мкм. Проводятся исследования механических и коррозионных свойств титанового сплава с полученными слоями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Илларионов А.Г., Попов А.А. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 137 с.
2. Якименко Л.М. Электродные материалы в прикладной электрохимии. М: Химия, 1977. 264 с.
3. Plasma Nitrided Titanium as a Bipolar Plate for Proton Exchange Membrane Fuel Cell / J. Liu [at all.] // J. Power Sources. 2009. Vol. 187. P. 500–504.
4. <https://www.nafion.com/en/products/sulfonic-membranes>.
5. Doyle M., Choi S., Proulx G. High-Temperature Proton Conducting Membranes Based on Perfluorinated Ionomer Membrane-Ionic Liquid Composites // J. Electrochem. Soc. 2000. Vol. 147. P. 34–37.

УДК 537.534:539.23

О.Г. Бобрович, доц., канд. физ.-мат. наук
(БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ГРАФИТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ИОННО- АССИСТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ МОЛИБДЕНА

В работе приведены результаты изучения элементного состава покрытия, распределение элементов в покрытии и их химические связи при формировании структур Мо – графит, создаваемых нанесением Мо в условиях ассистирования ионами Mo^+ . Анализ выполнен с применением методов резерфордовского обратного рассеяния ионов гелия и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Покрытия Мо осаждались на образцы графита с использованием импульсного ион-

ного источника вакуумной электродуговой плазмы, который генерирует как нейтральный поток J_a , так и ионный поток J_i частиц наносимого металла из материала электродов источника ионов, в качестве которого использовался чистый молибден 99,9%. Ионно-ассистированное нанесение молибдена осуществлялось при ускоряющем напряжении $U = 15$ кВ для ассистирующих ионов Mo^+ и интегральных потоках ионов $5 \cdot 10^{16} Mo^+/cm^2$ на образцы графита и на структуры Мо – графит, полученные осаждением соответствующего металла в течение 1 часа в безпотенциальном ($U = 0$ кВ) режиме работы ионного источника. В рабочей камере в процессе создания металлических покрытий поддерживался вакуум $\sim 10^{-2}$ Па. Отношение J_i / J_a в эксперименте составляло 0,52, что соответствовало условию роста покрытия на подложке [1, 2]. Композиционный состав исходного образца графита, полученный компьютерным моделированием спектра РОР, соответствует формуле $C_{97.4}O_{2.0}Si_{0.6}$.

Анализ энергетических спектров (рис. 1) ионов гелия от обработанных образцов Мо – графит позволяет предполагать наличие в них кроме атомов металла также и присутствие атомов кислорода и кремния. Стрелками отмечены номера каналов, которые связаны с энергиями рассеяния ионов гелия на атомах соответствующих элементов, локализованных на поверхности образцов. Анализ спектров ОР ионов гелия показывает наличие характерной ступеньки в области 45–60 каналов (рис. 1, спектр 1), говорящей о росте тонкой пленки и одновременном нарастании углеродного слоя на поверхности образцов структур Мо – графит. В числе элементов, находящихся в поверхностном слое исследуемых образцов кроме наносимого металла, также наблюдаются сигналы от С, О, Si. Идентификация в покрытии углерода и кислорода обусловлена конструктивными особенностями используемого ионного источника вакуумной электродуговой плазмы. В плазме присутствуют ионы газов, которые адсорбированы на поверхности электродов, а также в остаточной атмосфере паромасляного диффузионного насоса [3]. В процессе осаждения тонкой пленки металла в ее состав, таким образом, неизбежно входят кислород и углерод.

Методом РФЭС подтверждены сведения об элементном составе поверхностных слоев структур Мо – графит, полученные с помощью метода РОР. Этот метод использован в качестве дополнительного для изучения элементного состава, так как метод РФЭС позволяет надежно различить близкие по порядковому номеру элементы такие, как в нашем случае, Al и Si.

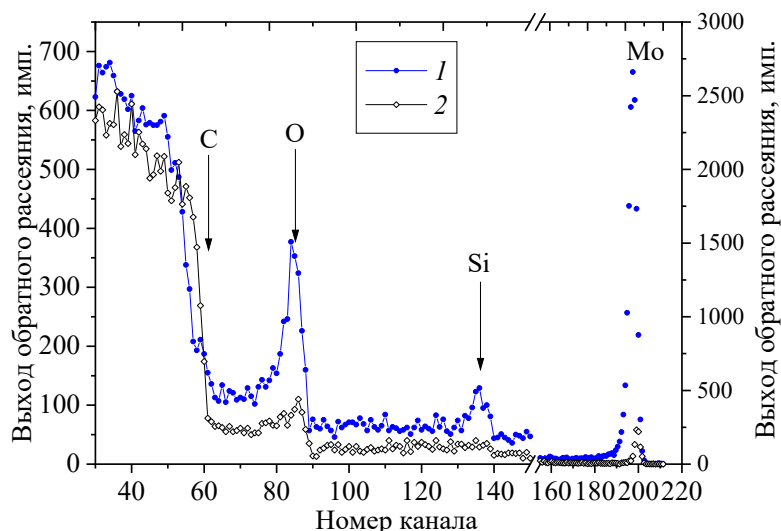


Рисунок 1 – Спектры РОР ионов гелия с $E_0 = 1,5$ МэВ от структуры Мо – графит: 1 – модифицированной ионно-ассистуемым нанесением Мо при ускоряющем напряжении 15 кВ; 2 – не модифицированный исходный образец Мо – графит

По спектрам РФЭС, снятым на различных глубинах модифицированных образцов при послойном их травлении ионами Ar^+ , определили элементный состав модифицированных поверхностных слоев образцов графита и структуры Мо – графит. С увеличением времени травления происходит изменение интенсивности сигнала от элементов, который определяется их концентрациями, значения которых приведены в таблице. Следует отметить, что глубина травления имеет ориентировочный характер и может быть завышена в 1,5–2,0 раза. Установлено, применяя метод РФЭС, что глубина распределения компонентов в модифицированном графите и структуре Мо – графит качественно согласуется с данными, полученными в независимых опытах с применением резерфордского обратного рассеяния ионов гелия.

Таблица – Элементный состав поверхностных слоев образцов графита и структуры Мо – графит модифицированных нанесением Мо в условиях ассистирования ионами Mo^+ при ускоряющем напряжении 15 кВ

Образец	Глубина, нм	Состав образца, ат. %			
		C	O	Mo	Si
Графит	0	81,3	13,1	0,6	5,0
	~2,5	86,5	9,0	1,3	3,2
	~12,5	86,5	8,4	1,9	3,2
	~42,5	88,3	7,2	1,3	3,2
Мо – графит	0	79,9	14,9	0,7	4,5
	~2,5	88,3	7,0	1,6	3,1
	~12,5	85,5	7,3	4,2	3,0
	~42,5	86,9	6,7	3,4	3,0

Для идентификации химических связей изучалась тонкая структура спектров РФЭС в области энергетических уровней C_{1s} , Mo_{3d} снятых на глубинах $\sim 12,5$ нм, $\sim 22,5$ нм, $\sim 42,5$ нм. Послойное ионное травление модифицированных образцов графита нанесением Mo в условиях ассистирования ионами Mo^+ позволило на разных глубинах оценить количественное соотношение между Mo и MoO_2 , которое изменяется по всей исследуемой глубине. Наличие оксида Mo приводит к существенному затруднению при идентификации карбида из-за наложения спектральных линий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобрович О.Г., Ташлыков И.С., Тульев В.В. Влияние параметров ионно-ассистируемого осаждения на формирование Me/Si структур // Труды БГТУ. 2014. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 74–76.

2. Бобрович О.Г., Ташлыков И.С. Формирование на графите металлсодержащих покрытий в условиях ионного ассистирования // Взаимодействие излучений с твердым телом: материалы 5-й Междунар. конф., Минск, 6–9 окт. 2003 г., Минск, 2003. С. 326–328.

3. Deposition of metal layers on carbon assisted with the same metal's ion radiation / I. S. Tashlykov [at all.] // Surface and Coatings Technology. 1995. Vol. 74–75. P. 945–948.

УДК 519.6

С.А. Зайцев, асп. (ВГУИТ, Воронеж, Россия)

СПОСОБ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОЛИЗА ПОЛИМЕРОВ

Одним из способов дальнейшего развития технологических процессов обработки и переработки полимеров является включение радиационного и комбинированного радиационно-термомеханического воздействий в производственные циклы. Однако реакции, протекающие в полимерных материалах при этих воздействиях, в настоящее время не достаточно теоретически обоснованы, что обуславливает необходимость их изучения в том числе и с помощью средств компьютерного моделирования. В рамках данной работы рассмотрена возможность решения данной задачи с использованием подхода имитационного моделирования, что позволяет следить за эндогенными параметрами процесса на различных этапах его функционирования. Построение пространственной модели молекулярной структуры полимеров описано авторами в работе [1].

Теоретическая часть. Внутренние параметры модели выбраны таким образом, чтобы в ходе функционирования модели можно было связать их с физическими параметрами полимера и эксплуатационными характеристиками изделий из него, в качестве которых выбраны ММР (молекулярно-массовое распределение), количество и отношение разных типов химических связей в веществе. ММР описывает распределение длин молекул в изучаемом полимере. Помимо углерод-углеродных связей в полимерных изделиях присутствуют так называемые “слабые” связи, их возникновение можно объяснить силами Ван-дер-Ваальса. Несмотря на то, что их энергетические показатели значительно слабее основных, их конечное влияние на физические свойства полимера невозможно недооценить. Так как при радиоллизе обрабатываемого материала преимущественно протекают процессы деструкции полимерной матрицы, воздействие ионизирующего излучения обусловлено двумя физическими явлениями, а именно, во-первых, рассеянием частицы излучения на ядрах атомов облучаемого вещества, которое описывается формулой Резерфорда [2]:

$$d\sigma = \left(\frac{Ze^2}{2E} \right)^2 * \frac{d\Omega}{\sin^4(\theta/2)}, \quad (1)$$

где величина $d\sigma$ – дифференциальное сечение ядра для рассеивания частиц в телесный угол $d\Omega$, Ze – заряд ядра атома, E – кинетическая энергия частицы, θ – угол рассеяния.

Во-вторых, потерями энергии на ионизацию и разрыв химических связей, если частица излучения исчерпала свой ионизационный потенциал, ее необходимо исключить из модели, для решения данной задачи использована формула Бете-Блоха [3]:

$$-\left(\frac{dT}{dX} \right) = \frac{4\pi n_e z^2 e^4}{m_e v^2} \left[\ln \frac{2m_e v^2}{I} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 - \delta - U \right], \quad (2)$$

где T – кинетическая энергия частицы, X – пройденный путь, n_e – плотность электронов в среде, v – скорость частицы, $I = (13.5Z) * 1.6 * 10^{-12}$ – средний ионизационный потенциал атомов поглощающего вещества (эрг).

Экспериментальная часть. Модель, реализующая вышеописанный алгоритм создана с использованием языка Python. Количество мономеров задано числом $5 * 10^4$. Исходное ММР ансамбля сдвинуто в область короткоцепных молекул, длины которых описаны по закону равномерного распределения. Вероятность образования слабой химической связи представлена как вероятность, зависящая в экспоненциальной форме от расстояния между элементами ансамбля, потенциально образующими связь. Визуализация ММР ансамбля с учетом слабых

связей представлена на рисунке 1 на левом графике. Характерно, что в этом случае ансамбль образует одну глобальную макромолекулу, или же стремится к ней, за исключением небольшого количества коротких молекулярных цепей. Изменения в ММР ансамбля, произошедшие после воздействия ионизирующего излучения, представлены на рис. 1 (на правом графике). Большая часть объема теперь представлена короткими сегментами некогда единой структуры.

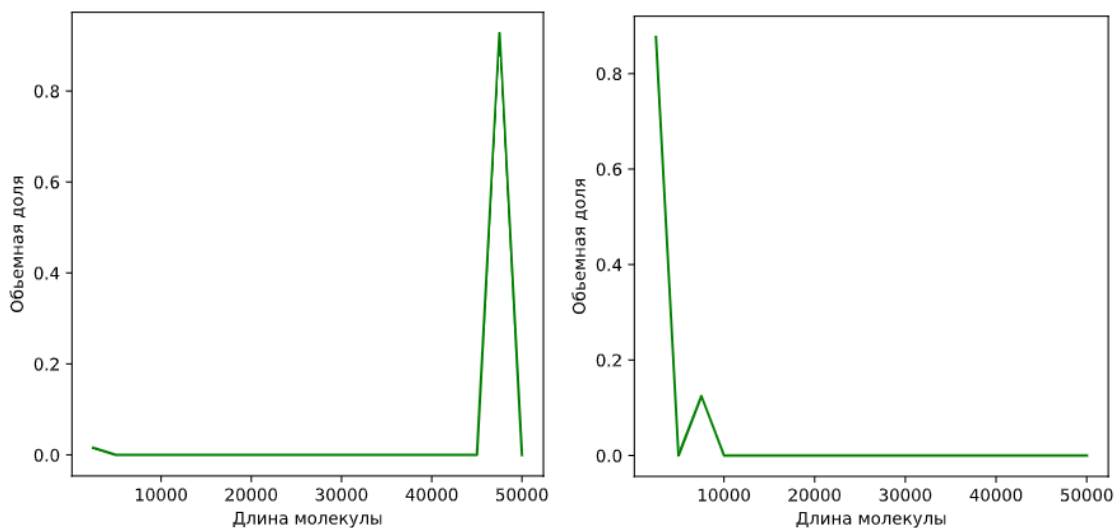


Рисунок 1 – ММР ансамбля после сшивки и после облучения

Изменилось и отношение первичных и слабых связей, логично предположить, что в связи с меньшей энергетической характеристикой, слабые связи больше подвержены распаду, что и подтвердилось в ходе эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. S.A. Zaitsev, M.E. Semenov, P.A. Meleshenko, S.G. Tikhomirov and A.P. Chernyaev. Digital model of polymer molecules / S.A. Zaitsev, M.E. Semenov, P.A. Meleshenko, S.G. Tikhomirov and A.P. Chernyaev // 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 1745 012095
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т.1. Механика. / Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц – 5-е изд., стереот. – М.: Физматлит, 2004. – 224с.
3. Bethe, Hans A., and Julius Ashkin. "Experimental nuclear physics." / Bethe, Hans A., and Julius Ashkin. Wiley, New York (1953).

М.А. Ходасевич¹, канд. физ-мат. наук;
А.В. Ляхнович¹; Х. Ериклиоглу²

¹(Институт физики НАН Беларуси, г. Минск)

²(Ближневосточный технический университет, г. Анкара)

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ШОКОЛАДА ПО СОСТАВУ И ПРОИЗВОДИТЕЛЮ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ ПРЕДОБРАБОТАННЫХ СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ ТГц ДИАПАЗОНА

В настоящее время в мире интенсивно развиваются неразрушающие и бесконтактные методы диагностики состава, качества и аутентичности продукции пищевой промышленности. Многочисленные разработки основаны на спектроскопической технике измерений. К традиционным видам УФ, видимой и ИК спектроскопии добавился и ТГц диапазон частот. Эффективность спектроскопических методов диагностики значительно повышается в сочетании с многопараметрическими методами анализа данных.

В качестве объекта анализа мы выбрали шоколад, различающийся как по производителю ("Коммунарка" (РБ), "Спартак" (РБ), "Ulker" (Турция), "Волшебница" (РФ) и "АVK" (Украина), так и по типу (горький, десертный, молочный). Спектры образцов толщиной $3,0 \pm 0,1$ мм регистрировались с использованием разработанного в Институте физики НАН Беларуси спектрометра [1] в диапазоне частот < 2 ТГц, где шоколад демонстрирует достаточную прозрачность. Факторами, затрудняющими извлечение полезной информации из измеренных спектров, являются интерференционные эффекты и наличие паров воды в измерительном тракте. Мы сознательно не принимали мер к удалению паров, в отличие от [2], моделируя условия измерения в обычных производственных либо складских помещениях.

Сложность состава исследуемых образцов существенно затрудняет детальный покомпонентный анализ. В ряде работ предложены методы диагностики качества продукции на основе ТГц изображений (безотносительно состава), либо отдельных составляющих продукта, таких как сахар либо какао-масло [3]. Отвлекаясь от детального анализа состава, мы ставили целью настоящей работы демонстрацию возможности выполнения дифференциации продукции по типу и производителю по так называемому методу «отпечатка пальца».

Применение метода главных компонент [4] к изображенным на рисунке 1, *a* спектрам образцов шоколада, обязательная предобработка которых заключалась только в центрировании на каждой длине волны, показало, что первая и вторая главные компоненты описывают

93,5% суммарной дисперсии данных, а на представленном на рисунке 1б графике счетов спектров в первую и вторую главные компоненты исследуемые образцы кластеризуются неудовлетворительно с точки зрения их принадлежности к определенным типам шоколада.

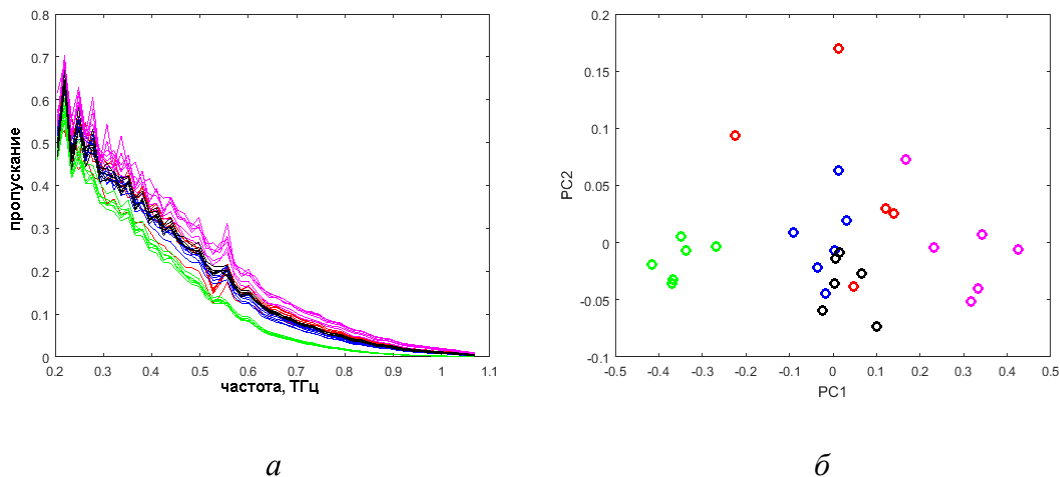


Рисунок1 – Спектры пропускания образцов шоколада в диапазоне частот 0,2–1,1 ТГц (а) и график счетов спектров в первую и вторую главные компоненты (б) (цвета на обоих графиках соответствуют определенному типу шоколада и его производителю)

Для улучшения кластеризации в качестве дополнительной предобработки спектров был использован метод адаптивных итеративно взвешенных наименьших квадратов со штрафом (airPLS) [5]. Такой вид предобработки позволяет избавиться от шумов, вызванных наличием указанных выше факторов, затрудняющих извлечение полезной информации. В отличие от классического применения метода airPLS нами использовались именно найденные базовые линии, представленные на рисунке 2, а. В этом случае первая и вторая главные компоненты базовых линий спектров описывают 95,6% суммарной дисперсии данных. На рисунке 2, б представлен соответствующий график счетов базовых линий в первую и вторую главные компоненты.

Видно, что качество кластеризации исследованных образцов шоколада существенно улучшилось. Таким образом, нами показана возможность проведения дифференциации шоколада по типу и производителю по методу «отпечатка пальца» в пространстве главных компонент спектров пропускания в ТГц диапазоне частот с привлечением для их предобработки метода адаптивных итеративно взвешенных наименьших квадратов со штрафом. Целью дальнейшего исследования будет являться применение к счетам в первые две главные компоненты базовых линий методов кластерного или дискриминантного анализа для нахождения правил классификации образцов шоколада или дискриминирующих функций, соответственно.

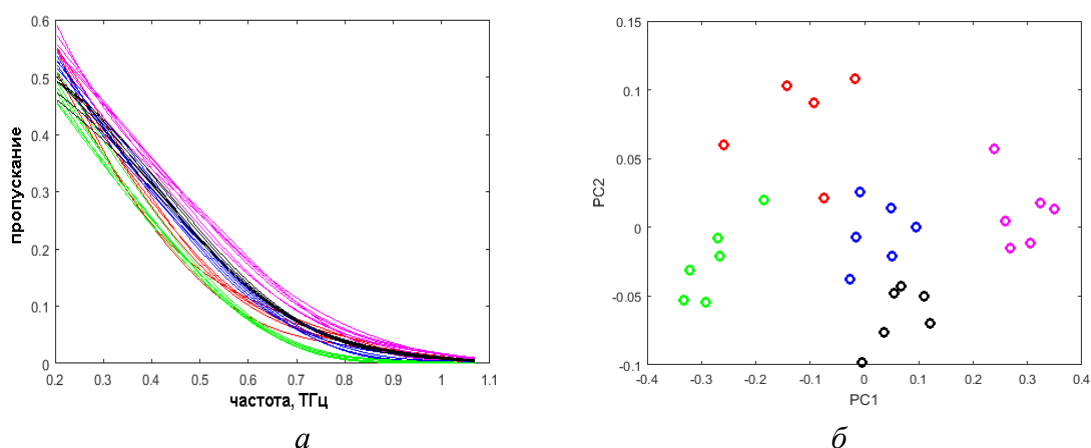


Рисунок 2 – Базовые линии спектров пропускания образцов шоколада, определенные методом airPLS (а), и график счетов базовых линий в первую и вторую главные компоненты (б)

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках исследовательской и инновационной программы Европейского Союза Horizon 2020 (грант № 101008228).

ЛИТЕРАТУРА

1. Терагерцовый спектрометрический комплекс с использованием фотопроводящих антенн и Yb:KYW лазера / А. М. Гончаренко [и др.] // Сборник научных трудов, IV Конгресс физиков Беларуси, 24–26 апреля, Минск, 2013. С. 82–83.
2. Oblitas J., Ruiz J. Multivariate Analysis for the Classification of Chocolate According to its Percentage of Cocoa by Using Terahertz Time-Domain Spectroscopy (THz-TDS) // Proceedings. 2021. V. 70. P. 109-1–6.
3. Weiller S., Tanabe T., Oyama Y. Terahertz Non-Contact Monitoring of Cocoa Butter in Chocolate // World Journal of Engineering and Technology. 2018. V. 6. P. 268–274.
4. Esbensen K. H., Geladi P. Principal Component Analysis: Concept, Geometrical Interpretation, Mathematical Background, Algorithms, History, Practice // Comprehensive Chemometrics / ed.: S. Brown, R. Tauler, B. Walczak. Elsevier, 2009. P. 211–226.
5. Zhang Z. M., Chen S., Liang Y. Z. Baseline correction using adaptive iteratively reweighted penalized least squares // Analyst. 2010. V. 135(5). P. 1138–1146.

**АСИМПТОТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА G – ФУНКЦИИ МЕЙЕРА
СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА ПО МНИМЫМ ПАРАМЕТРАМ**

G – функция определена Мейером в 1941 г. контурным интегралом Меллина – Барнса [1]

$$G_{p,q}^{m,n} \left(z \left| \begin{matrix} (a)_p \\ (b)_q \end{matrix} \right. \right) = \frac{1}{2\pi i} \int_L \Psi(s) z^{-s} ds \quad (1)$$

для целых неотрицательных m, n, p, q , $0 \leq m \leq q$, $0 \leq n \leq p$, комплексных a_i и b_j при $z \neq 0$, где

$$\Psi(s) = \frac{\prod_{j=1}^m \Gamma(b_j + s) \prod_{i=1}^n \Gamma(1 - a_i - s)}{\prod_{j=m+1}^q \Gamma(1 - b_j - s) \prod_{i=n+1}^p \Gamma(a_i + s)}, \quad (2)$$

при этом пустые произведения в (2) (если таковые имеются) считаются равными единице. Здесь L – специально выбранный замкнутый контур [2], проходящий через бесконечно удаленную точку и разделяющий все левые полюсы $s = -b_j - k$, $j=1, \dots, m$, Γ – функций Эйлера в числителе от правых $s = 1 - a_i + k$, $i=1, \dots, n$, $k = 0, 1, 2, \dots$

В работе [3] рассматривались асимптотические свойства G – функции – ядра интегрального преобразования по индексу [4]

$$G(x) = G_{2n, 2m+2}^{m+2, n} \left(x^2 \left| \begin{matrix} \frac{1}{2} + (a)_n, (a)_n \\ i\tau, -i\tau, (b)_m, \frac{1}{2} - (b)_m \end{matrix} \right. \right).$$

Отметим, что G – функция является наиболее общей функцией гипергеометрического типа, которая при соответствующих значениях параметров включает в себя элементарные функции, функции Бесселя и многие другие специальные функции [1].

Важным рядом в приложениях и теории специальных функций является обобщенный гипергеометрический ряд

$${}_p F_q \left(\begin{matrix} a_1, \dots, a_p \\ b_1, \dots, b_q \end{matrix}; z \right) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(a_1)_k \dots (a_p)_k}{(b_1)_k \dots (b_q)_k} \frac{z^k}{k!}, \quad (3)$$

содержащий в числителе p , а в знаменателе q параметров, коэффициенты которого определяются символом Похгаммера

$$(a)_k = a(a+1)\dots(a+k-1), (a)_0 = 1.$$

В настоящей работе рассматриваются асимптотические свойства

G – функции действительного аргумента с мнимыми параметрами при $\tau \rightarrow +\infty$

$$G(x) = G_{p, 2m+2}^{m+2, n} \left(x \left| i\tau, -i\tau, (b)_m, \frac{1}{2} - (b)_m \right. \right)^{(a)_p}. \quad (4)$$

при следующих предположениях

$$2m + 2 \geq p, a_j, b_k \in \mathbf{R}, j = 1, \dots, p, k = 1, \dots, m,$$

и никакие из параметров b_1, \dots, b_m не совпадают и не отличаются на целое число.

Метод исследования основан на представлении G – функции Мейера в виде линейной комбинации обобщенных гипергеометрических рядов (3) и применении формулы Стирлинга для гамма-функции Эйлера.

Выражение G – функции (1) через линейные комбинации обобщенных гипергеометрических рядов со степенными множителями следует из теоремы Слейтер [2]. В частности, при выполнении условий $\min_{k=1, \dots, m} \{0, b_k\} < \operatorname{Re} s < \min_{j=1, \dots, n} \{a_j\}$ для (2) функцию (4) можно представить следующим выражением

$$\begin{aligned} G(x) = & 2 \operatorname{Re}_{i\tau} \left[x^{i\tau} \Gamma \left(\begin{matrix} -2i\tau, (b)_m - i\tau, 1 - (a)_n + i\tau \\ (a)_{n+1, p} - i\tau, \frac{1}{2} + (b)_m + i\tau \end{matrix} \right) \times \right. \\ & \times {}_p F_{2m+1} \left(\begin{matrix} 1 - (a)_p + i\tau \\ 1 + 2i\tau, 1 - (b)_m + i\tau, \frac{1}{2} + (b)_m + i\tau \end{matrix}; (-1)^{p-n-m} x \right) \Big] + \\ & + \sum_{j=1}^m x^{b_j} \Gamma(i\tau - b_j, -i\tau - b_j) \Gamma \left(\begin{matrix} (b)'_m - b_j, 1 - (a)_n + b_j \\ (a)_{n+1, p} - b_j, \frac{1}{2} + (b)_m + b_j \end{matrix} \right) \times \\ & \times {}_p F_{2m+1} \left(\begin{matrix} 1 - (a)_p + b_j \\ 1 - i\tau + b_j, 1 + i\tau + b_j, 1 - (b)'_m + b_j, \frac{1}{2} + (b)_m + b_j \end{matrix}; (-1)^{p-n-m} x \right), \quad (5) \end{aligned}$$

где $(b)'_m - b_j$ означает

$$b_1 - b_j, \dots, b_{j-1} - b_j, b_{j+1} - b_j, \dots, b_m - b_j.$$

Метод нахождения асимптотических выражений функции (5) при фиксированных x и больших τ основан на применении формулы Стирлинга для гамма-функции Эйлера [1], которую запишем в виде:

$$\Gamma(\alpha \pm i\tau) = \sqrt{2\pi\tau}^{\alpha-1/2} e^{-\pi\tau/2} \exp \left[\pm \left\{ \frac{\pi}{2} \left(\alpha - \frac{1}{2} \right) + \tau \ln \tau - \tau \right\} - O \left(\frac{1}{\tau} \right) \right].$$

Справедливо асимптотическое представление для (5) при $\tau \rightarrow +\infty$

$$G(x) = \frac{(2\pi)^{n+1-p/2}}{\sqrt{\pi}} e^{-(n+1-p/2)\pi\tau} \tau^{p-1/2} \times$$

$$\times \cos((2m - p + 2))(\tau \ln \tau - \tau) - \tau \ln 4x + (-1)^{n+p/2} x \tau^{p-2m-1} + \frac{\pi}{2} \chi \Big) + 2\pi \frac{e^{-\pi\tau}}{\tau} \times$$

$$\times \sum_{j=1}^m C_j \left(\frac{x}{\tau^2}\right)^{b_j} {}_p F_{2m-1} \left[\begin{matrix} 1 - (a)_p + b_j \\ 1 - (b)'_m + b_j, \frac{1}{2} + (b)_m + b_j \end{matrix}; (-1)^{p-n-m} x \right] \left(1 + O\left(\frac{1}{\tau}\right)\right),$$

где

$$\rho = \sum_{j=1}^n a_j - \sum_{j=n+1}^p a_j - m - 1 + \frac{p}{2},$$

$$\chi = 2 \sum_{j=1}^m b_j + \sum_{j=1}^p a_j - m - 1 + \frac{p}{2},$$

$$C_j = \Gamma \left(\begin{matrix} (b)'_m - b_j, 1 - (a)_n + b_j \\ (a)_n - b_j, \frac{1}{2} + (b)_m + b_j \end{matrix} \right).$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Бейтмен Г., Эрдейи А. Высшие трансцендентные функции. Гипергеометрическая функция. Функции Лежандра. – М., «Наука», 1973. – 295 с.
2. Маричев О.И. Метод вычисления интегралов от специальных функций (теория и таблицы формул). – Мн., «Наука и техника», 1978. – 312 с.
3. Яроцкая Л. Д. Асимптотические представления по параметрам G-функции Мейера специального вида // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. – Минск : БГТУ, 2017. – № 2 (200). – С. 28 – 32.
4. Yarotskaya L.D. On index transforms with Meijer's G-function kernels // Integral Transforms and Special Functions. – 2000. – Vol. 10, № 3 – 4. – P. 309 – 320.

УДК 519.71

И.К. Асмыкович, доц., канд. физ-мат. наук
(БГТУ, г. Минск)

СИНТЕЗ ЛИНЕЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ В ДЕСКРИПТОРНЫХ СИСТЕМАХ

Классическим объектом изучения в качественной теории управления для обыкновенных линейных систем является система вида

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t),$$

$$x(0) = x_0, \tag{1}$$

$$y(t) = Cx(t) \tag{2}$$

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 таких объектов в XX веке подробно рассмотрены и проанализированы основные задачи качественной теории управления, получены критерии их разрешимости, разработаны алгоритмы синтеза необходимых регуляторов. Но в XXI веке было выяснено, что даже для таких моделей решены далеко не все задачи [1].

Важную роль в качественной теории управления играет принцип обратной связи, когда управление формируется в виде функции от текущего состояния объекта исследуемого процесса. Принцип обратной связи, по словам Р. Калмана, одного из основателей современной качественной теории управления [1], составляет «основу всей автоматики» и включает «наиболее важную идею теории управления». Обратная связь – основа основ современной техники. Трудно назвать какую-либо ее область, где бы не нашла применения обратная связь. Регуляторы температуры поддерживают нужную температуру, регуляторы давления – заданное давление, регуляторы скорости – требуемое число оборотов вала, регуляторы напряжения – постоянство напряжения в электросети [2]. Обратная связь используется для стабилизации и управления положением движущихся в пространстве объектов. Ее применение позволило расширить исследования в области таких качественных свойств систем управления, как управление спектром или модальная управляемость, реконструируемость, расщепимость.

При дальнейшем изучении математических моделей реальных систем управления было выяснено, что представление (1), (2) далеко не всегда корректно описывают объект управления. При составлении математических моделей физических процессов и систем автоматического регулирования необходимо учитывать как дифференциальные, так и алгебраические связи, как непрерывные, так и дискретные взаимодействия, а во многих случаях и эффекты последействия, которыми нельзя пренебречь [2–4]. Адекватной математической моделью таких процессов являются гибридные дискретно-непрерывные динамические системы [3,4]. Такие системы находят широкое распространение в самых разнообразных областях современной науки и техники: в автоматике и телемеханике, радиологии, биологии и медицине, при моделировании технологических процессов в плазме и лазерах, ряде экономических моделей и т.д. [2–5].

Моделирование процессов, протекающих в объектах управления с запаздыванием, осуществляется с помощью дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом. Трудности в математиче-

ском решении этих уравнений перетекают в проблемы технической реализации систем управления [2].

В качественной теории управления динамическими системами в последние десятилетия большой популярностью пользуются линейные дескрипторные системы, которые также называются дифференциально-алгебраическими, либо сингулярными, либо неразрешенными относительно производной. [5]. Математически такие системы записываются в виде

$$\begin{aligned} S\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t), \\ Sx(0) &= Sx_0, \quad \det S = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

В таких системах имеются существенные сложности в вопросах существования и единственности решения, но при условии регулярности они снимаются.

$$\det[\lambda S - A] \neq 0 \quad (4)$$

Системы в виде (3) широко используются при моделировании процессов в электрических цепях, технологических процессов переноса (материала и тепла), задачах демографии. Это происходит тогда, когда наряду с дифференциальными связями встречаются и алгебраические (функциональные) зависимости, например, условия материального или финансового баланса. При этом выделяется специальный класс таких систем – гибридные системы [3,4]. Отметим, что системы (3), (4) содержат, как частный случай, системы с запаздывающим аргументом нейтрального типа с одной стороны, а с другой – сами являются частным случаем дескрипторных систем (3) с запаздывающим аргументом. Если коэффициенты гибридной дискретно-непрерывной системы являются постоянными матрицами, то такая система называется стационарной. Простейшая такая стационарная система имеет вид

$$\dot{x}(t) = A_{11}x(t) + A_{12}y(kh), \quad t \in [kh, (k+1)h); \quad (5)$$

$$y(kh+h) = A_{21}x(kh) + A_{22}y(kh) + Bu(kh), \quad (6)$$

В формулах (5), (6) $x(t) \in R^n$, $y(kh) \in R^m$, $u(kh) \in R^r$, $h > 0$, A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} , B – постоянные матрицы соответствующих размеров с начальными условиями

$$x(0) = x(+0) = x_0; \quad y(0) = y_0.$$

Математическая модель системы с отклоняющимся аргументом записывается в виде

$$\dot{x}(t) = A_0x(t) + A_1x(t-h) + bu(t), \quad t > 0, \quad (7)$$

Одной из основных задач теории автоматического управления является задача синтеза линейной обратной связи по состоянию или

по выходу в линейных системах и непосредственный расчет коэффициентов регулятора [2].

При этом для системы (1), (2) регулятор типа обратной связи имеет вид $u(t) = Qx(t)$ (Q – постоянная $r \times n$ -матрица), для системы (3), (4) линейная обратная связь по состоянию $u(t) = Q_1 x(t) + Q_2 v(t)$ или обратной связи по состоянию и производной $u(t) = Q_1 x(t) + Q_2 \dot{x}(t) + Bv(t)$. Для системы (5), (6) регулятор имеет дискретный характер $u(kh) = Q_1 x(kh) + Q_2 y(kh)$, $k = 0, 1, \dots$, для систем с запаздыванием (7) возможен как дискретный так и интегральный $u(t) = \int_{-h}^0 [dQ(s)]x(t+s)$, $t > 0$.

Непосредственный расчет коэффициентов соответствующего регулятора представляет собой конкретную вычислительную задачу, которая для обыкновенных линейных систем решается путем приведения системы к соответствующей канонической форме, для системы (3), (4) используют ее вторую эквивалентную форму и ее модификацию из [6] т.е.

$$S = \begin{bmatrix} I_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \hat{A} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & A_{13} & A_{14} \\ 0 & I_2 & 0 & 0 \\ A_{31} & 0 & 0 & 0 \\ A_{41} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \ddot{B} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \\ I_3 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Для гибридных дифференциально-разностных систем ее сводят к дискретной системе [3, 4], для систем с отклоняющимся аргументом используют теорему Винера-Пэли, либо различные канонические структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поляк, Б.Т. Трудные задачи линейной теории управления / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков // Автоматика и телемеханика – 2005. – № 5. – С. 7-46.
2. Lapeto, A.V. Synthesis of Control Systems with delay by the embedding theory on the basis of approximation of delay / A.V. Lapeto, I.F. Kuzmicki, I.K. Asmykovich // Journal of Control, Automation and Electrical Systems. – Volume 28, Issue 3. – June 2017. – P. 297-302.
3. Asmykovich, I.K. On the Stabilization of Hybrid Dynamic Systems / I.K. Asmykovich, I.M. Borkovskaya // 14 TH International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – V.1(4) – 2018. – P. 13-16.
4. Марченко, В. М., Борковская И. М. О стабилизации скалярных гибридных дифференциально-разностных систем / В. М. Марчен-

ко, И. М. Борковская // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. – Минск: БГТУ, 2020. – № 1 (230). – С. 5-13

5. Дескрипторные системы управления: Библиографический указатель / сост. И.К Асмыкович. - Минск : БГТУ, 2020. – 305 с

6. Марченко, В.М. О структуре дескрипторных систем / В.М. Марченко // Труды БГТУ. Серия VI. Физ.-мат. науки и информатика. – Минск : БГТУ, 2004. – С. 3-6.

УДК 532.539

А.М. Волк, доц., канд. техн. наук;

А.И. Вилькоцкий, доц., канд. техн. наук;

О.А. Архипенко, ассист. (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА В РОТОРНЫХ АППАРАТАХ

Вихревые аппараты широко применяются в химической, пищевой, газодобывающей, строительной и других отраслях для проведения различных физико-химических процессов, таких как разделение гетерогенных систем и тепломассообмен [1].

Эффективность явлений переноса в таких аппаратах [2, 3] обеспечивается высокими относительными скоростями взаимодействующих фаз, развитой поверхностью контакта, высокой интенсивностью процессов межфазного взаимодействия и существенно превосходит кинетические характеристики контактных устройств с традиционными способами взаимодействия фаз в системах, что способствует заметному уменьшению габаритов оборудования (рис. 1).

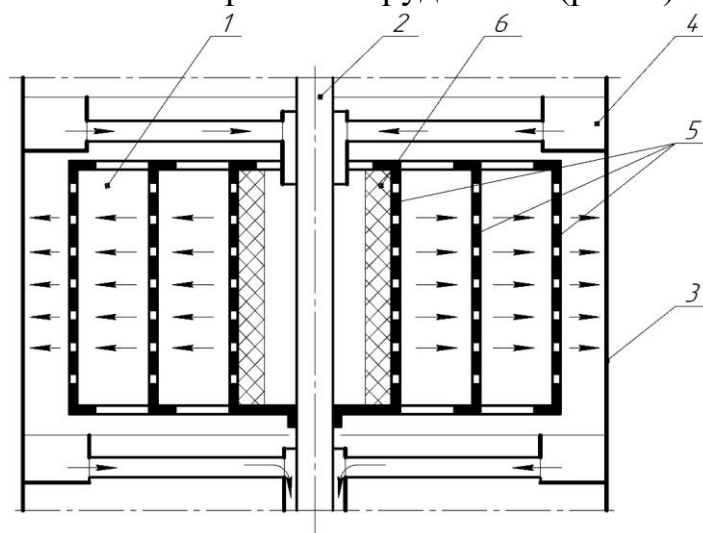


Рисунок 1 – Схема ротормассообменного аппарата: 1 – ротор; 2 – вал; 3 – корпус аппарата; 4 – переливное устройство; 5 – перфорированные цилиндры; 6 – перераспределительный элемент

Вихревые аппараты характеризуются небольшим гидравлическим сопротивлением, малой металлоемкостью, внешним подводом энергии. Внедрение аппаратов в производство требует математического моделирования исследуемых процессов, сочетания теоретических и экспериментальных методов, относительной простоты расчетов [4–6]. Для проверки теоретических расчетов были выполнены экспериментальные исследования. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

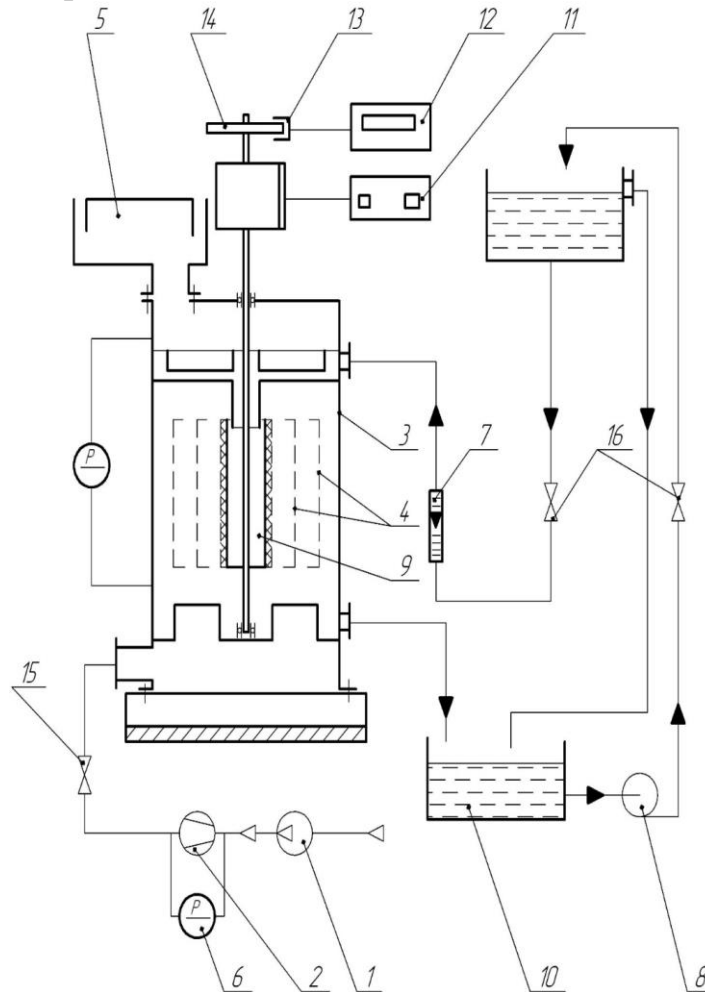


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки: 1 – газодувка; 2 – диафрагма; 3 – корпус аппарата; 4 – перфорированные цилиндры; 5 – брызгоуловитель; 6 – U-образный манометр; 7 – ротаметр; 8 – насос; 9 – стакан; 10 – емкость; 11 – выпрямитель; 12 – тонометр; 13 – фотоэлектрический датчик; 14 – диск; 15 – задвижка; 16 – вентиль

На основании теоретических и экспериментальных исследований получена зависимость среднего диаметра капель диспергированной жидкости от геометрических и гидродинамических параметров:

$$\bar{d} = 0,089 \left(\frac{\pi n}{30} \right)^{-0,64} \left(\frac{d_0}{D_{II}} \right)^{0,31}, \quad (1)$$

где n – частота вращения диспергирующего цилиндра, об/мин; d_0 – диаметр отверстия в цилиндре, м; $D_{\text{ц}}$ – наружный диаметр диспергирующего цилиндра, м. Погрешность аппроксимации составляет 6,4 %.

Обобщение выполненных расчетов при заданной нулевой радиальной скорости газового потока и нулевом начальном значении радиальной составляющей скорости частицы дало возможность получить расчетную осевую скорость газового потока, при которой достигается равномерное орошение цилиндров:

$$W_z = 3,96 \cdot 10^5 d^{2,1} (\omega R_1)^{0,5} (R_2 - R_1)^{-1,1}. \quad (2)$$

Эффективность работы аппарата определяется величиной уноса жидкой фазы из рабочей зоны. При плотности орошения $q > 6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ на внутренних поверхностях цилиндров образуется пленка и капли, достигшие стенки, поглощаются этой пленкой, что способствует снижению уноса. Получена зависимость величины уноса жидкости от основных режимных параметров:

$$E = 1,4 \cdot 10^{-15} \text{Re}_{\Gamma}^{2,61} q^{-1,46} n^{1,82}, \quad (3)$$

где $\text{Re}_{\Gamma} = W_z D \rho_{\Gamma} / \mu_{\Gamma}$ – число Рейнольдса; D – внутренний диаметр корпуса аппарата, м; μ_{Γ} – коэффициент динамической вязкости газа, Па·с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутепов, А.М. Вихревые процессы для модификации дисперсных систем / А.М. Кутепов, А.С. Латкин. М.: Наука, 1992. 250 с.
2. Кафаров, В.А. Анализ и синтез химико-технологических систем / В.А. Кафаров, В.М. Мешалкин. М.: Химия, 1991. 431 с.
3. Роторный массообменный аппарат вентиляторного типа: пат. 2605 Респ. Беларусь, МКИ⁵ В 01D 3/30 / В.А. Марков, А.И. Ершов, А.А. Боровик, А.М. Волк. Опубл. 30.12.1998.
4. Волк, А. М. Движение твердых частиц в закрученном потоке / А. М. Волк // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2009. № 3. С. 77–81.
5. Волк, А. М. Тонкодисперсная сепарация жидкости / А.М. Волк // Труды БГТУ. Физ.-мат. науки и информатика. 2020. № 2 (236). С. 31–36.
6. Соу, С. Гидродинамика многофазных систем / С. Соу. М.: Мир, 1971. 536 с.

**НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ГИБРИДНЫХ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-РАЗНОСТНЫХ СИСТЕМ**

В докладе рассматривается проблема стабилизации гибридных дифференциально-разностных систем при использовании регуляторов по типу обратной связи. Доказаны необходимые условия стабилизации указанных систем с помощью простейшего регулятора и регулятора с интегральными составляющими типа свертки.

Гибридная дифференциально-разностная система в симметрической относительно операторов дифференцирования и сдвига форме имеет вид:

$$\dot{x}_1(t) = A_{11}x_1(t) + A_{12}x_2(t) + B_1u(t), \quad (1)$$

$$x_2(t+h) = A_{21}x_1(t) + A_{22}x_2(t) + B_2u(t), t \geq 0 \quad (2)$$

начальные условия:

$$x_1(0) = x_{10}, x_2(\tau) = \psi(\tau), \tau \in [0, h], \quad (3)$$

где $x_1(t) \in R^{n_1}$, $x_2(t) \in R^{n_2}$, $u(t) \in R^r$, $h > 0$, A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} , B_1 , B_2 – действительные постоянные матрицы соответствующих размеров; $u = u(\cdot)$ – внешнее (кусочно-непрерывное) воздействие – управление; $\psi(\cdot)$ – начальная кусочно-непрерывная n_2 -вектор-функция.

Под решением системы (1), (2) будем понимать абсолютно непрерывную n_1 -вектор-функцию $x_1(\cdot)$ и кусочно-непрерывную n_2 -вектор-функцию $x_2(\cdot)$, которые для всех $t \geq 0$ удовлетворяют уравнению (2) и для почти всех $t \geq 0$ удовлетворяют уравнению (1). Это решение начальной задачи (1)–(3) для каждого начального значения $x_{10} \in R^{n_1}$ и кусочно-непрерывной n_2 -вектор-функции $\psi(\cdot)$ существует и единственно.

Рассмотрим невозмущенную ГДР-систему (1), (2), т. е. систему с выключенным управлением $u(t) = 0$ при $t \geq 0$. Следуя методу Эйлера отыскания решений системы в экспоненциальной форме в теории обыкновенных дифференциальных уравнений $x_1(t) = e^{\lambda t} c_1$, $x_2(t) = e^{\lambda t} c_2$, приходим к системе

$$e^{\lambda t} \begin{bmatrix} \lambda I_{n_1} - A_{11} & -A_{12} \\ -A_{21} & e^{\lambda h} I_{n_2} - A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = 0, \lambda \in C, t > 0,$$

что приводит к поиску комплексных корней λ уравнения

$$\det \begin{bmatrix} \lambda I_{n_1} - A_{11} & -A_{12} \\ -A_{21} & e^{\lambda h} I_{n_2} - A_{22} \end{bmatrix} = \Delta_1(\lambda) = 0, \lambda \in C,$$

которое назовем основным характеристическим уравнением системы (1), (2); здесь и далее C – поле комплексных чисел, символ I_k означает единичную $k \times k$ -матрицу. Корни уравнения $\Delta_1(\lambda) = 0$ назовем основными характеристическими значениями этой системы.

Наряду с экспоненциальными решениями невозмущенной системы (1), (2) представляют интерес решения вида

$$x_1(t) \equiv 0, x_2(t) = \begin{cases} 0, & t \neq kh, \\ \begin{matrix} k \\ c\lambda^h \end{matrix}, & t = kh, \end{cases} \quad k = 0, 1, 2, \dots, t \geq 0,$$

где $c \neq 0, 0^0 = 1$ (назовем их импульсными решениями), подставляя которые в систему (1), (2), приходим к уравнению

$$\det(\lambda I_{n_2} - A_{22}) = \Delta_2(\lambda) = 0, \lambda \in C,$$

которое назовем присоединенным характеристическим уравнением системы (1), (2), а его корни – присоединенными характеристическими значениями этой системы.

Спектром системы (1), (2) назовем множество всех характеристических значений (основных и присоединенных) с учетом их кратностей, а соответствующие решения назовем спектральными решениями системы (1), (2). Невозмущенную систему (с выключенным управлением) назовем спектрально устойчивой, если все ее спектральные решения являются асимптотически устойчивыми.

Утверждение 1. Для спектральной устойчивости невозмущенной системы (1), (2) необходимо и достаточно, чтобы

1) все основные собственные значения имели отрицательные действительные части;

2) все присоединенные собственные значения λ лежали в комплексной плоскости внутри единичного диска: $|\lambda| < 1$.

Введем линейную обратную связь следующих типов: в виде простейшего регулятора:

$$u(t) = Q_1 x_1(t) + Q_2 x_2(t), \quad (4)$$

где Q_1 и Q_2 – постоянные матрицы, и в виде регулятора с интегральными составляющими типа свертки:

$$u(t) = Q_1 x_1(t) + Q_2 x_2(t) + \int_0^t Q_1(s) x_1(t-s) ds + \int_0^t Q_2(s) x_2(t+h-s) ds, \quad (5)$$

где Q_1 и Q_2 – постоянные матрицы, $Q_1(\cdot)$ и $Q_2(\cdot)$ – матрицы-функции соответствующих размеров, причем элементы функциональных матриц $Q_1(\cdot)$ и $Q_2(\cdot)$ являются кусочно-непрерывными функциями с конечным носителем $H > 0$, $Q_1(\cdot) \equiv 0, Q_2(\cdot) \equiv 0$ для $t > H$.

При исследовании ГДР-систем приходится применять к таким системам преобразование Лапласа, в связи с чем возникает необходимость в экспоненциальной оценке роста решений этих систем. Положим

$$x_2(t) = x_3(t-h), t \geq 0. \quad (6)$$

Тогда система запишется в виде ГДР-системы запаздывающего типа, более удобной для применения преобразования Лапласа:

$$\dot{x}_1(t) = A_{11}x_1(t) + A_{12}x_3(t-h) + B_1u(t), \quad (7)$$

$$x_3(t) = A_{21}x_1(t) + A_{22}x_3(t-h) + B_2u(t), t \geq 0 \quad (8)$$

с начальными условиями

$$x_1(0) = x_{10}, x_3(\tau) = \psi(\tau+h), \tau \in [-h, 0). \quad (9)$$

Доказана теорема, дающая экспоненциальную оценку решений системы (7), (8) (а следовательно, и системы (1), (2)), что позволяет применять к этим системам преобразование Лапласа.

Присоединенные характеристические уравнения систем (7), (8) и (1), (2) идентичны, а основные характеристические уравнения связаны соотношением

$$\det \begin{bmatrix} \lambda I_{n_1} - A_{11} & -A_{12}e^{-\lambda h} \\ -A_{21} & I_{n_2} - A_{22}e^{-\lambda h} \end{bmatrix} = e^{-\lambda n_2 h} \Delta_1(\lambda) = 0, \lambda \in C,$$

и, значит, спектры систем (7), (8) и (1), (2) совпадают.

Доказаны следующие необходимые условия стабилизации гибридных дифференциально-разностных систем:

Теорема 1. Если система является стабилизируемой регуляторами (4) или (5), то

$$\text{rank} \begin{bmatrix} \lambda I_{n_1} - A_{11} & -A_{12} & B_1 \\ -A_{21} & e^{\lambda h} I_{n_2} - A_{22} & B_2 \end{bmatrix} = n_1 + n_2, \quad \forall \lambda \in C, \text{Re } \lambda > 0.$$

Теорема 2. Если система является стабилизируемой регуляторами (4) или (5), то выполняется условие

$$\text{rank} \begin{bmatrix} \lambda I_{n_2} - A_{22} & B_2 \end{bmatrix} = n_2, \quad \forall \lambda \in C, |\lambda| < 1.$$

АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ НУЛЕВОГО РЕШЕНИЯ ОДНОГО УРАВНЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНОГО ТИПА НА ГРАНИЦЕ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ

Рассмотрим скалярное уравнение нейтрального типа

$$a_0 x(t) + a_1 x(t-h) + a_2 \dot{x}(t-h) + \dot{x}(t) = 0, t > 0, \quad (1)$$

где $a_0, a_1, a_2 \in \mathbb{R}$, $h > 0$ – постоянное запаздывание.

Характеристическое уравнение для уравнения (1) имеет вид

$$\lambda + a_1 + a_2 e^{-\lambda h} + a_3 \lambda e^{-\lambda h} = 0, \quad (2)$$

Известно, что для асимптотической устойчивости уравнения (1) необходимо и достаточно, чтобы действительные части всех корней характеристического уравнения (2) были бы меньше нуля. В [1] показано, что имеет место следующая теорема:

Теорема 1. Уравнение (2) имеет корни с отрицательными действительными частями в том и только в том случае, когда $|a_3| \leq 1$ и точка (a_1, a_2, a_3) принадлежит открытой области U_0^* в пространстве коэффициентов (a_1, a_2, a_3) , которая определяется следующими условиями:

граница области U_0^* описывается системой (см. рис. 1)

$$\begin{cases} a_1 + a_2 \cos yh + a_3 y \sin yh = 0, \\ y - a_2 \sin yh + a_3 y \cos yh = 0, \end{cases} \quad y \in \left[0, \frac{\pi}{h}\right], h > 0;$$

область U_0^* содержит луч $a_1 > 0, a_2 = 0$.

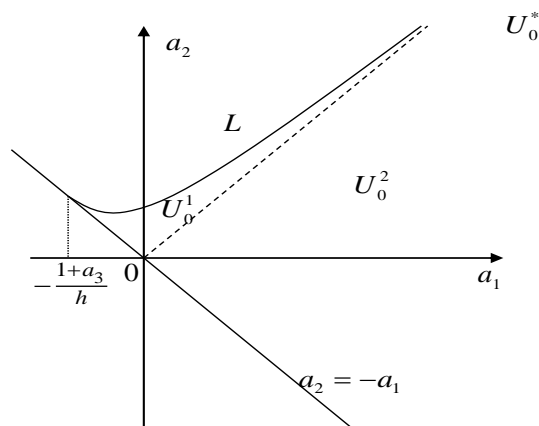


Рисунок 1 – Область устойчивости

Показано, что имеет место

Теорема 2. Точка (a_1, a_2, a_3, h) , $|a_3| < 1$, $h > 0$ в пространстве коэффициентов квазиполинома (2) принадлежит области U_0^* в том, и только в том случае, когда выполнено одно из условий:

- i) $a_1 > |a_2|, |a_3| \leq 1$,
- ii) $a_2 > |a_1|, |a_3| < 1, h < h^*$,

где h^* вычислено по формуле

$$h^* = \sqrt{\frac{1 - a_3^2}{a_2^2 - a_1^2}} \cdot \arccos\left(-\frac{a_1 + a_2 a_3}{a_2 + a_1 a_3}\right).$$

Имеет место следующее утверждение

Теорема 3. На всей границе области устойчивости U_0^* , кроме точки $a_1 = -\frac{1 + a_3}{h}, a_2 = \frac{1 + a_3}{h}, |a_3| < 1$ имеет место устойчивость по Ляпунову. В точке $a_1 = -\frac{1 + a_3}{h}, a_2 = \frac{1 + a_3}{h}, |a_3| < 1$ уравнение (1) неустойчиво.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марченко В.М., Якименко А.А. К вопросу о распределении корней квазиполиномов // Доклады Акад. наук Беларуси. – 1996. – Т. 40. – № 3. – С. 36–41.

УДК 517.948

С.В. Пономарева¹, доц., канд. физ.-мат.наук;
О.Н. Пыжкова², зав. кафедрой ВМ, канд. физ.-мат.наук
¹(БГУ, г. Минск) ²(БГТУ, г. Минск)

ПОТОЧЕЧНАЯ ОЦЕНКА РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДРОБНОГО ПОРЯДКА

В данной работе обратимся к вопросу нахождения поточечных оценок решений задачи Коши для дробно-дифференциальных уравнений с использованием классической леммы Бихари.

Условия разрешимости задачи Коши для дифференциальных уравнений дробного порядка

$$\begin{cases} D^\alpha x(t) = f(t, x(t)), \\ \lim_{t \rightarrow 0} t^{1-\alpha} x(t) = \xi, \end{cases} \quad (1)$$

с дробной производной Римана–Лиувилля D^α порядка α , $0 < \alpha < 1$ 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 $\lim_{t \rightarrow 0} t^{1-\alpha} x(t)$ рассматривались в [1] и [2] при различных предположениях о правой части уравнения в (1).

Здесь дробная производная в форме Римана–Лиувилля определяется равенством (см. [1])

$$D^\alpha x(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{d}{dt} \left(\int_0^t \frac{x(s) ds}{(t-s)^\alpha} \right). \quad (2)$$

Функцию $f(t, u)$ будем предполагать непрерывной по совокупности переменных на множестве $(0, T] \times (-\infty, \infty)$.

Предположим, что нелинейность функции $f(t, u)$ удовлетворяет неравенству

$$|f(t, u)| \leq \mu(t) + \nu(t) |u|^k \quad (0 < t \leq T, -\infty < u < \infty), \quad (3)$$

(допускается неограниченный оператор в правой части дифференциального уравнения (1), для каждой непрерывной на отрезке функции можно найти степенную мажоранту по функциональному аргументу), где $\mu(t)$ и $\nu(t)$ – некоторые неотрицательные функции со свойствами

$$\int_0^t (t-s)^{\alpha-1} \mu(s) ds \in C_{1-\alpha}, \quad \int_0^t (t-s)^{\alpha-1} s^{\alpha-1} \nu(s) ds \in C_{1-\alpha}, \quad (4)$$

обеспечивающими ограниченность и полную непрерывность оператора

$$Ax(t) = \frac{\xi t^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} + \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t (t-s)^{\alpha-1} f(s, x(s)) ds \quad \text{в пространстве } C_{1-\alpha},$$

$k \geq 1$ (Обоснование выбора свойств (4) функций $\mu(t)$ и $\nu(t)$ приводится в [1]).

Решение задачи (1) сводится к отысканию неподвижных точек указанного оператора $Ax(t)$ (см. [1]). При определенных условиях на правую часть (1) мы можем гарантировать существование и даже единственность решения задачи (см. там же). Но при этом явный вид решения получить непросто, т.к. оператор дробного интегрирования даже элементарные функции переводит в сложные специальные, не говоря уже об их композиции. Часто может быть достаточно знать значение функции решения в определенной точке. Наиболее известными инструментами, позволяющими строить оценки обыкновенных дифференциальных уравнений, являются леммы Бихари и Гронуола–Беллмана (см., например, [3]). С помощью первой из них получим

оценку решения дробно-дифференциального уравнения (1) в соответствующем функциональном пространстве.

Лемма Бихари и ее обобщения имеют многочисленные приложения. В частности, они оказываются полезными при исследовании таких вопросов теории дифференциальных уравнений, как доказательство единственности и существования решений, отыскание явных поточечных оценок решения нелинейных дифференциальных уравнений, в том числе в частных производных, управляемость начально-краевых задач, асимптотическая устойчивость и т.д. – см., например, [3], [4], [5].

Напомним формулировку классической леммы Бихари.

Лемма (Бихари). Пусть функции $x(t)$, $f(t)$ непрерывны и неотрицательны на отрезке $[a, b]$, причем

$$x(t) \leq c + \int_a^t f(s)x^m(s)ds \text{ для всех } t \in [a, b],$$

$$\int_a^t f(s)ds < \frac{1}{(m-1)c^{m-1}} \text{ для всех } t \in [a, b],$$

где $m > 1$, $c > 0$ – некоторые константы. Тогда имеет место неравенство

$$x(t) \leq c \cdot \left[1 - (m-1) \cdot c^{m-1} \cdot \int_a^t f(s)ds \right]^{1/(1-m)} \equiv \bar{x}(t) \text{ для всех } t \in [a, b].$$

Нужно заметить, что $x = \bar{x}(t)$ является решением уравнения

$$x(t) = c + \int_a^t f(s)x^m(s)ds \equiv c + F[x](t),$$

равносильного соответствующей задаче Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений со степенной по функциональному аргументу правой частью.

Перейдем к формулировке аналогичного этой лемме утверждения о поточечной оценке для задачи (1).

Утверждение. Пусть для функции $f(t, x(t)) \in C_{1-\alpha}$ выполняются условия (3) и (4). Тогда для решения задачи Коши (1) выполняется оценка

$$x(t) \leq c \cdot \left[1 - (k-1) \cdot c^{k-1} \cdot \int_0^t (t-s)^{\alpha-1} v(s)ds \right]^{1/(1-k)},$$

где $c = \left\| \frac{\xi t^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} + \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t (t-s)^{\alpha-1} \mu(s) ds \right\|_{1-\alpha}$, норма пространства $C_{1-\alpha}$ определяется следующим образом: $\|x\|_{1-\alpha} = \sup_{0 < t < T} t^{1-\alpha} |x(t)|$.

Доказательство утверждения основывается на полной непрерывности оператора $Ax(t)$ в пространстве $C_{1-\alpha}$ (см. [1]), а также оценке

$$|Ax(t)| \leq \left| \frac{\xi t^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} + \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t (t-s)^{\alpha-1} \mu(s) ds \right| + \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t (t-s)^{\alpha-1} \nu(s) |x(s)|^k ds,$$

вытекающей из (3).

При этом длина отрезка $[0, T]$, на котором гарантируется существование решения будет существенно зависеть от степени ограничения k по функциональному аргументу в (3). Эта зависимость нелинейна и может быть записана в виде

$$\left((k-1)^{\frac{1}{k}} + (k-1)^{-\frac{1}{k}} \right) \cdot c^{\frac{k-1}{k}} \cdot b^{\frac{1}{k}} \leq 1,$$

где c – константа из утверждения, $b = \left\| \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t (t-s)^{\alpha-1} \nu(s) s^{k\alpha-k} ds \right\|_{1-\alpha}$.

Заметим, что в этом неравенстве число T – это длина отрезка, по которому берется супремум при вычислении нормы в константах c и b .

ЛИТЕРАТУРА

1. Забрейко П. П., Пономарева С.В. О решении задачи Коши с неограниченной правой частью для уравнений дробного порядка. Доклады Нац. акад. наук Беларуси. – 2020. – Т. 64, № 1. – С. 13–20.
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. А. В. Чернов. Об одном обобщении леммы Бихари на случай вольтерровых операторов в лебеговых пространствах. Матем. заметки, 2013, том 94, выпуск 5, с. 757–76.
4. Kilbas A.A., Srivastava H.M., Trujillo J.J. Theory and Applications of Fractional Differential Equations (North-Holland Mathematics Studies 204). Elsevier, 2006, 523 p.
5. А. Г. Бутковский, С. С. Постнов, Е. А. Постнова. Дробное интегродифференциальное исчисление и его приложения в теории управления. I. Математические основы и проблема интерпретации. Автомат. и телемех., 2013, выпуск 4, с.3–42.

В.В. Крахотко¹, доц., канд. физ.-мат. наук;
 В.В. Горячкин¹, доц., канд. физ.-мат. наук;
 В.В. Игнатенко², доц., канд. физ.-мат. наук
¹(БГУ, г Минск), ²(БГТУ, г. Минск)

ОБ УПРАВЛЯЕМОСТИ ДИСКРЕТНЫХ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЛЬТЕРРА

В последние годы вырос интерес к исследованию динамических систем управления с последействием, с распределенным запаздыванием. У таких систем состояние в любой момент времени зависит от предыстории процесса. Обобщением таких систем являются интегро-дифференциальные системы.

В докладе рассматривается дискретный аналог непрерывной интегро-дифференциальной системы управления (системы Вольтерра) [1–2]. Для различных видов управляемости приводятся необходимые и достаточные условия управляемости, выраженные через параметры рассматриваемой системы управления. Полученные условия записываются в терминах решений определяющих уравнений, составленных по исходной системе.

Пусть процесс описывается системой

$$x(t+1) = \sum_{s=0}^t A(s)x(t-s) + Bu(t), t = 0, 1, 2, \dots, x(0) = x_0, \quad (1)$$

где $x, x_0 \in R^n, u \in R^r, A(s), s = 0, 1, \dots, B$ – матрицы соответствующих размеров.

Определение 1. Систему (1) назовём управляемой из нуля за время t_1 , если для любого $c \in R^n$ найдется управление $u(t), t \in [0; t_1 - 1]$, такое, что $x(0) = 0, x(t_1) = c$.

Определение 2. Систему (1) назовём управляемой в ноль за время t_1 , если для любого $x_0 \in R^n$ найдется управление $u(t), t \in [0; t_1 - 1]$, такое, что $x(0) = x_0, x(t_1) = 0$.

Запишем решение $x(t), t \geq 0$, системы (1) в форме Коши.

Пусть $n \times n$ – матричная функция удовлетворяет уравнению

$$F(t, \tau - 1) = \sum_{s=0}^{\tau} F(t, \tau + s)A(s) \quad (2)$$

с начальными условиями

$$F(t, t) = E_n, \quad F(t, \tau) \equiv 0, \tau > t. \quad (3)$$

Тогда решение системы представимо в виде

$$x(t) = F(t, 0)x_0 + \sum_{i=0}^{t-1} \sum_{s=0}^i F(t-1, i)Bu(s). \quad (4)$$

Введем определяющее уравнение системы (1). Оно имеет вид:

$$X(t+1) = \sum_{s=0}^t A(s)X(t-s) + BU(t), \quad (5)$$

где $X(t) - (n \times r)$ -матрица, $U(t) - (r \times r)$ -матрица.

Обозначим $X^{(0)}(t)$ - решение рекуррентного уравнения (5) при условиях:

$$U(0) = E_r, U(t) \equiv 0, t \neq 0, X(t) = 0, t < 0,$$

и решение $X^{(1)}(t)$, при условиях: $U(t) \equiv 0, \forall t, X(0) = E_n$.

Из (2), (3), (4), (5) следует, что

$$X^{(0)}(t) = \sum_{i=0}^{t-1} F(t-1, i)B, t \geq 0, X^{(1)}(t) = F(t, 0). \quad (6)$$

Тогда справедливы утверждения.

Теорема 1. Для того, чтобы система (1) была относительно управляема из нуля на $[0; t_1]$ необходимо и достаточно, чтобы

$$\text{rank} \{ X^{(0)}(t), t = 1, 2, \dots, t_1 \} = n.$$

Доказательство. Из (4) следует, что при $t = t_1$ выполняется равенство

$$c = \sum_{i=0}^{t_1-1} \sum_{s=0}^i F(t_1-1, i)Bu(s).$$

Таким образом, система (1) относительно управляема, тогда и только тогда, когда имеет решение относительно $u(s)$ система линейных уравнений

$$c = x(t_1) = \sum_{i=0}^{t_1-1} \sum_{s=0}^i F(t_1-1, i)Bu(s), \forall c \in R^n.$$

Из последнего соотношения вытекает, что для управляемости системы (1) необходимо и достаточно, чтобы

$$\begin{pmatrix} p' \sum_{i=0}^{t_1-1} F(t_1-1, i)B \\ p' \sum_{i=0}^{t_1-2} F(t_1-1, i+1)B \\ \dots \dots \dots \\ p' \sum_{i=0}^1 F(t_1-1, i+t_1-2)B \\ p' F((t_1-1, t_1-1)B) \end{pmatrix} \neq 0, \quad (7)$$

для любого $p \in R^n$, $\|p\| \neq 0$. Учитывая (6) заключаем, что из (7) следует утверждение теоремы 1.

Теорема 2. Система (1) управляема в ноль на $[0; t_1]$ тогда и только тогда, когда выполняется условие

$$\text{rank} \left\{ X^{(0)}(t), t = 1, 2, \dots, t_1 \right\} = \text{rank} \left\{ X^{(1)}(t_1), X^{(0)}(t), t = 1, 2, \dots, t_1 \right\}.$$

Доказательство теоремы проводится аналогично доказательству теоремы 1.

Заметим, что полученные результаты можно перенести на нестационарные дискретные системы Вольтерра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайшун И. В. Системы с дискретным временем. Мн: Институт математики НАН Беларуси, 2001, 400с.

2. Гайшун И. В. Линейные системы с изменяющейся структурой. Управляемость и наблюдаемость. // Дифференциальные уравнения. – 2000. – Т. 36. – С. 1544-1549.

УДК 336.781.5

М.В. Чайковский
(БГТУ, г. Минск)

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ИНВЕСТИЦИЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Решение о приобретении «объекта инвестиций» при постоянном и известном виде исчисляемого процента пригодно, если фактическое значение к моменту начала инвестиций неотрицательно. Это является предварительным условием при выборе решения из нескольких альтернатив, соответствующих нескольким объектам возможных инвестиций.

В предположении, что для объекта существует $n+1$ платежей A_0, a_1, \dots, a_n в моменты $0, 1, 2, \dots, n$ и n поступлений b_1, b_2, \dots, b_n в моменты $1, 2, \dots, n$, инвестиция будет выгодной, если фактически полученное значение с учетом постоянного процента i будет большим или равным величине платежей, то есть если

$$\sum_{j=1}^n b_j (1+i)^{-j} \geq A_0 + \sum_{j=1}^n a_j (1+i)^{-j},$$

или по-другому,

$$V_n = \sum_{j=1}^n (b_j - a_j)(1+i)^{-j} - A_0 \geq 0,$$

где V_n – фактическое значение суммарного дохода относительно момента 0.

Если разность $b_j - a_j$ обозначить через A_j , то

$$V_n = \sum_{j=1}^n A_j (1+i)^{-j} - A_0.$$

В условиях инвестиций A_j понимаются как разница между поступлениями и платежами и их суммирование с учетом возрастания объема денежной массы на заданный постоянный процент i , по сути является фактической (актуализированной) прибылью. Метод актуализации дает возможность проводить сравнение серий капиталов (как поступлений, так и расходов), которые другими способами невозможно классифицировать из-за разницы в темпах истечения сроков. Этот метод ведет к «полному порядку» среди всех возможных серий капиталов.

Определив, какой из объектов инвестиций является выгодным с экономической точки зрения, следует перейти к сравнению его с другими объектами. При этом используется следующий критерий отбора: если предположить, что можно запрашивать и получать любую сумму денег при исчисляемом виде процентов, будет выгоднее выбрать такую инвестицию, актуализированное значение прибыли при котором будет большим.

Эти условия для объектов A и B могут быть записаны следующим образом:

$$\begin{aligned} &\text{если } V_n^A - V_n^B > 0, \text{ то подходит } A, \\ &\text{если } V_n^A - V_n^B < 0, \text{ то подходит } B. \end{aligned}$$

Если учитывается переменный, но заранее известный, вид процентов, то актуализированное значение прибыли примет вид

$$V_n = -A_0 + \frac{A_1}{(1+i_1)} + \frac{A_2}{(1+i_1)(1+i_2)} + \dots + \frac{A_n}{(1+i_1)(1+i_2)\dots(1+i_n)}.$$

Если же вопросы инвестиций рассматриваются с учетом неопределенности, то вид процентов не только варьируется со временем, но и принимает нечеткую форму. Тогда можно использовать нечеткую актуализацию и предыдущее выражение для определенного уровня принадлежности может быть записано так:

$$\begin{aligned} V_n^{(\alpha)} = & -A_0 (+) \frac{A_1}{1+[r_1^{(\alpha)}, s_1^{(\alpha)}]} (+) \frac{A_2}{(1+[r_1^{(\alpha)}, s_1^{(\alpha)}])(1+[r_2^{(\alpha)}, s_2^{(\alpha)}])} (+) \\ & (+) \dots (+) \frac{A_n}{(1+[r_1^{(\alpha)}, s_1^{(\alpha)}])(1+[r_2^{(\alpha)}, s_2^{(\alpha)}]) \dots (1+[r_n^{(\alpha)}, s_n^{(\alpha)}])}. \end{aligned}$$

С учетом формулы

$$\frac{1}{1 + [r_k^{(\alpha)}, s_k^{(\alpha)}]} = \left[\frac{1}{1 + s_k^{(\alpha)}}, \frac{1}{1 + r_k^{(\alpha)}} \right]$$

будем иметь

$$V_n^{(\alpha)} = -A_0 (+) A_1 \left[\frac{1}{1 + s_1^{(\alpha)}}, \frac{1}{1 + r_1^{(\alpha)}} \right] (+) \\ (+) A_2 \left[\frac{1}{(1 + s_1^{(\alpha)})(1 + s_2^{(\alpha)})}, \frac{1}{(1 + r_1^{(\alpha)})(1 + r_2^{(\alpha)})} \right] (+) \dots (+) \\ (+) A_n \left[\frac{1}{(1 + s_1^{(\alpha)})(1 + s_2^{(\alpha)}) \dots (1 + s_n^{(\alpha)})}, \frac{1}{(1 + r_1^{(\alpha)})(1 + r_2^{(\alpha)}) \dots (1 + r_n^{(\alpha)})} \right].$$

Это выражение для каждого уровня позволяет найти диапазон возможностей, между которыми находится реальный результат. Кроме того, варьируя уровнем принадлежности и заданным порогом (детерминированным или нечетким), удастся определить, при каком уровне α можно будет обеспечить выбор A_j ($j = 0, 1, 2, \dots, n$) и предположения относительно интервалов $[r_k^{(\alpha)}, s_k^{(\alpha)}]$.

УДК 519.624

И.Ф. Соловьева (БГТУ, г. Минск)

О СВОЙСТВАХ ЖЕСТКОСТИ В ГРАНИЧНЫХ ЗАДАЧАХ С ПОГРАНИЧНЫМ СЛОЕМ

118 лет прошло с момента основания теории пограничного слоя, однако, актуальность этой темы не утрачена и в наши дни. Основные проблемы решения задач такого рода заключаются в наличии у них весьма малого параметра $\varepsilon > 0$, стоящего возле производных самого высокого порядка уравнения.

Функция зависит от малого параметра ε таким образом, что в граничной задаче возникают пограничные или внутренние переходные слои. Ее численное решение и градиент решения в этом случае начинают расти. Особенно рост решения наблюдается вблизи граничных точек. В этом случае возникает пограничный слой [1].

Явление жесткости, как правило, присуще дифференциальным уравнениям с малым параметром при старшей производной, и относится к числу наиболее сложных в вычислительной математике задач. Эти задачи представляют собой математические модели, для которых соответствующие дискретные модели по-прежнему являются далекой от завершения проблемой.

Проанализируем смысл малого параметра на примере дифференциального уравнения:

$$\varepsilon y'' = p(x)y + f(x), \quad 0 \leq x \leq l, \quad (1)$$

где $\varepsilon > 0$, $p(x) > 0$. Данное уравнение может возникать в случае смешанной граничной задачи для уравнения теплопроводности. Коэффициент $\varepsilon > 0$ как раз и рассматривается как малый параметр при старшей производной. Он будет пропорционален шагу сетки по времени. Малость этого параметра характеризуется безразмерной величиной

$\mu(\varepsilon) = \left(\frac{1}{\varepsilon} \int_0^l p(x) dx \right)^{-1/2}$. Численное решение такого уравнения является не-

благоприятным в вычислительном отношении. Это легко объясняется тем, что решение соответствующего однородного уравнения $\varepsilon z'' = p(x)z$ будет резко возрастать при приближении к правому концу отрезка. Его поведение при этом будет сравнимо с поведением функции $\exp \int_0^x \sqrt{\frac{p(t)}{\varepsilon}} dt$. В качестве примеров таких задач можно привести, например, задачи магнитной гидродинамики с большими числами Хартмана, задачи о течениях Навье-Стокса с большими числами Рейнольдса и другие задачи.

Свойства граничных задач с малым параметром при старшей производной и с возникающими при этом пограничными слоями очень схожи со свойствами жестких граничных задач [1].

Рассмотрим систему линейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, имеющую постоянную матрицу.

$$\begin{cases} y'(t) = A y(t) + f(t), & t > 0, \\ y(t_0) = y_0, \end{cases} \quad (2)$$

где $A = (a_{ij})_1^n$, $f(t) = (f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t))^T$, $y_0 \in R^n$.

Собственные значения матрицы $A = (a_{ij})_1^n$ обозначим через λ_i , $i = \overline{1, n}$.

Определение. Задача вида (2) называется жесткой, если выполняются следующие условия:

1) существуют собственные значения λ_i , для которых $\operatorname{Re}(\lambda_i) \ll 0$, $i = p_1, p_2, \dots, p_m$, $m < n$, $1 \leq p_1, p_2, \dots, p_m \leq n$;

2) существуют собственные значения λ_s умеренной величины, то есть $|\lambda_s| \leq |\lambda_i|$, $s = q_1, q_2, \dots, q_r$, $r \leq n - m$, $1 \leq q_1, q_2, \dots, q_r \leq n$, $\{p_1, p_2, \dots, p_m\} \cap \{q_1, q_2, \dots, q_r\} = \emptyset$;

3) не существует собственных значений λ_j таких, что $\operatorname{Re}(\lambda_i) > 0$ и $\operatorname{Re}(\lambda_i) \approx |\lambda_i|$, $i = p_1, p_2, \dots, p_m$;

4) не существует собственных значений λ_k с $\operatorname{Im}(\lambda_i) \approx |\lambda_i|$, $i = p_1, p_2, \dots, p_m$, для которого не выполнялось бы условие $\operatorname{Re}(\lambda_k) \leq 0$.

В исходной задаче (1) предполагается, что ее правая часть является плавно меняющейся функцией. Поэтому она не вносит никаких резких изменений в основную фундаментальную часть решения.

Граничные задачи с малым параметром при старшей производной и с возникающими при этом пограничными либо внутренними переходными слоями и жесткие задачи имеют одинаковую внутреннюю природу. Структура этой природы проявляется в свойствах решений таких задач и в описании процессов и явлений этих задач.

Рассмотрим систему нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка

$$y' = f(t, y), \quad t > 0.$$

Чтобы охарактеризовать свойство жесткости задачи применяется большая константа Липшица:

$$L(t) = \sup_{u \in M(t)} \left\| \frac{\partial f(t, u)}{\partial y} \right\| \gg 0.$$

Если константа Липшица будет иметь достаточно большие значения, то задачи такого вида принято относить к числу жестких задач. Эта характеристика жесткости является наиболее важной и распространенной в современной литературе. Кроме этого, ее считают вполне достаточной для определения жесткости той или иной задачи.

К таким задачам можно отнести задачи, описывающие всевозможные диффузионно-конвективные процессы, задачи о вычислении сопротивления, возникающего при обтекании тела, о вычислении сопротивления трения корабля и множество других подобных задач. Это достаточно трудные в численном решении задачи.

Как правило, они имеют один или несколько пограничных слоев, и до сих пор вызывают к себе повышенный интерес. Это происходит из-за их многочисленных приложений.

В связи с непрерывно возникающими этими приложениями необходимо распространять существующие методы на более общие дифференциальные задачи, и, конечно, необходимо построение новых более конструктивных вычислительных алгоритмов, способных охватывать широкие классы задач с малым параметром при старшей производной и с возникающими при этом пограничными либо внутренними переходными слоями. Такие методы должны обладать гибкими вычислительными свойствами, имеющими возможность обойти труд-

ности решения систем линейных алгебраических уравнений достаточно высокого порядка, регулировать вопросы, связанные с организацией итерационных процессов, и обеспечивать их устойчивость и сходимость.

Для решения такого рода задач предлагается модификация метода множественной двусторонней пристрелки. При использовании метода множественной двусторонней пристрелки к решению задачи вида (1) улучшаются свойства пристрелочных траекторий; ослабляются условия на локализацию начальных приближений; уменьшается число неизвестных, что ведет к некоторому упрощению решения.

Рассмотрим систему нелинейных о. д. у. первого порядка с малым параметром при производной, приведенную к нормализованному виду:

$$y' = f(t, y, \varepsilon), \quad a \leq t \leq b \quad (3)$$

с присоединенным к ней двухточечным граничным условием

$$g(y(a), y(b)) = 0, \quad (4)$$

где $y: [a, b] \rightarrow R^n$, $y: [a, b] \rightarrow R^n \times R \rightarrow R^n$, $\varepsilon > 0$, $g: R^n \times R^n \rightarrow R$.

Предполагаем, что отображения f и g такие, что задача (3)-(4) имеет единственное решение и обладает необходимой гладкостью.

Искомое решение $y(t)$ представлено в виде:

$$y(t) = \begin{cases} v(t, y_{2j-1}^*), & t \in J_{2j-1}^{(-)}, \\ u(t, y_{2j-1}^*), & t \in J_{2j-1}^{(+)}, \quad j = \overline{1, m} \end{cases} \quad (5)$$

Функция $u(t, y_{2j-1}^*)$ – решение задачи Коши в прямом направлении, а функция $v(t, y_{2j-1}^*)$ – в обратном направлении.

Для решения замыкающей системы

$$\begin{aligned} u(t_{2j}, y_{2j-1}^*) - v(t_{2j}, y_{2j+1}^*) &= 0, \quad j = \overline{1, m-1}, \\ g(v(t_0, y_1), u(t_{2m}, y_{2m-1}^*)) &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

использовался метод Ньютона.

В методе множественной двусторонней пристрелки можно произвольно выбирать точки пристрелки, точки сшива решений, а также параметры пристрелки и длины положительных $J_{2j-1}^{(+)}$ и отрицательных $J_{2j-1}^{(-)}$ пристрелочных подинтервалов. При решении системы (3)-(4) представляем исходную граничную задачу в виде совокупности трех задач Коши, благоприятных в вычислительном отношении. Для решения задач Коши в наше время существует целый арсенал известных, хорошо работающих методов. К ним можно отнести методы Рунге-Кутты, а также методы, обладающие В или D-устойчивостью. Параметры пристрелки определяются как решения замыкающей системы

(6). А, в свою очередь, конструктивную сторону замыкающей системы (6) удобно характеризовать матрицей Якоби. Свойства матрицы Якоби создают необходимые условия для качественного численного моделирования траектории искомого решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М: Наука, 1974. – 712 с.

УДК 51-7+517. 925

В.А. Савва, проф., д-р физ.-мат.наук; С. Банжак, асп.
(БГТУ, г. Минск)

ДИНАМИКА ЛАЗЕРНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ МОЛЕКУЛ: ДИСКРЕТНЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ С НЕОДНОРОДНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ ФУРЬЕ

Этот когерентный процесс описывается системой уравнений

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

в безразмерных величинах. Пусть излучение взаимодействует с двумя соседними переходами $E_0 \leftrightarrow E_1 \leftrightarrow E_2$ между энергетическими уровнями. Искомые функции $a_n(t)$ – амплитуды вероятности возбуждаемых квантовых систем обладают дискретным пространством Фурье. Для некоторых систем оно может быть неоднородным. Этот случай рассмотрен ниже. Для решения уравнений предлагается метод, использующий средства дискретной математики.

Для рассматриваемых здесь трехуровневых квантовых систем неоднородное спектральное пространство описываем величиной $x = \{0, 1, c\}$; $c \neq 2$ и задаваемой на этой сетке дискретной функцией $\sigma(x)$, используемой в качестве весовой для построения ортогональных полиномов дискретного аргумента x . При этом можно ввести дополнительные свободные параметры, например,

$$\sigma(x; a, k, c) = \{1 - a - kc, a, kc\}; \quad \sum_x \sigma(x) = 1; \quad 0 < a < 1 - kc. \quad (2)$$

Ради упрощения расчетов зафиксируем два параметра, положив $c = 3$ (расходящаяся сетка) и $k = 1/8$. Получаем

$$\sigma(x; a) = \left\{ \frac{5}{8} - a, a, \frac{3}{8} \right\}; \quad x = \{0, 1, 3\}; \quad 0 < a < \frac{5}{8}. \quad (3)$$

Строим систему ортогональных полиномов и вычисляем квадраты норм дискретных ортогональных полиномов

$$p_0 = 1, \quad p_1 = \begin{vmatrix} c_0 & c_1 \\ 1 & x \end{vmatrix} = x - \left(\frac{9}{8} + a \right), \quad p_2 = \begin{vmatrix} c_0 & c_1 & c_2 \\ c_1 & c_2 & c_3 \\ 1 & x & x^2 \end{vmatrix} =$$

$$= x^2 \frac{1}{64} [135 - 16a(5 + 4a)] - x \frac{1}{64} [405 - 32a(7 + 2a)] + \frac{9}{2} a. \quad (4)$$

$$d_0^2 = 1, \quad d_1^2 = \frac{1}{64} [135 - 16a(5 + 4a)], \quad d_2^2 = d_1^2 \frac{27}{16} a(5 - 8a). \quad (5)$$

Ортонормированные дискретные полиномы, построенные в Фурье пространстве имеют вид

$$\{\hat{p}_n(x)\}_{n=0}^{N=2} = \frac{p_n(x)}{d_n}; \quad n = 0, 1, 2. \quad (6)$$

Известно, что полиномы удовлетворяют рекуррентным соотношениям. Для нормированных полиномов они имеют вид

$$\bar{f}_{n+1} \hat{p}_{n+1}(x) + \bar{f}_n \hat{p}_{n-1}(x) = [rx + s_n] \hat{p}_n(x); \quad n = 0, 1, 2;$$

$$\bar{f}_0 = 0, \quad \bar{f}_1 = 1, \quad \bar{f}_3 = 0. \quad (7)$$

Находим коэффициенты этих рекуррентных соотношений

$$r = \frac{1}{d_1}; \quad \bar{f}_2 = \frac{d_2}{d_1^4} = \frac{3}{4} \frac{\sqrt{3a(5-8a)}}{d_1^3}; \quad \bar{f}_1 = 1; \quad (8)$$

$$s_0 = -\frac{(\frac{9}{8} + a)}{d_1}; \quad s_1 = \frac{\frac{1}{8} + a}{d_1} - \frac{18(15-8a)}{64d_1^3}; \quad s_2 = -\frac{3(5-8a)(9+8a)}{64d_1^3}. \quad (9)$$

Решение уравнений (1) ищем в виде дискретного Фурье преобразования

$$a_n(t) = e^{is_n t} \sum_{x=0}^2 F_n(x) e^{irxt}; \quad (10)$$

где $F_n(x)$ Фурье спектры функций $a_n(t)$. Спектры выражаются через построенные полиномы следующим образом

$$F_n(x) = \sigma(x) \hat{p}_0 \hat{p}_n(x); \quad n = 0, 1, 2; \quad x = 0, 1, 3; \quad (11)$$

что доказывается подстановкой (10) и (11) в уравнения (1), которые удовлетворяются при следующих условиях

$$f_n = \bar{f}_n, \quad \varepsilon_n = s_n - s_{n-1}, \quad n = 1, 2. \quad (12)$$

Это взаимно однозначное соответствие между коэффициентами уравнений и коэффициентами рекуррентных соотношений (7), т. е. связи между характеристиками квантовых систем и спектральными

свойствами их амплитуд вероятности $a_n(t)$. Построив ранее пространство Фурье, теперь мы узнали, каким квантовым системам оно соответствует. Это однопараметрическое ($a, k=1/8, c=3$) семейство систем, куда входят трехуровневые системы с различными дипольными моментами $f_2(a)$ второго перехода. Квантовые системы a -семейства имеют неэквидистантно расположенные энергетические уровни. Это более реалистичные модели молекул и атомов. Аналитическое решение для неэквидистантных возбуждаемых моделей не удавалось ранее получить, используя методы высшей, непрерывной математики (методы дифференциальных уравнений) с использованием известных полиномов непрерывной переменной.

Аналитическое решение уравнений (1) определяется выражениями (10), (11). Приведем сразу экспериментально измеряемую величину $\rho_n(t; a) = a_n(t)a_n^*(t)$ – вероятностное дискретное распределение частиц по энергетическим уровням:

$$\rho_0(t) = 1 - \frac{1}{32} \left\{ \begin{array}{l} 8a(5-8a)(1-\cos(rt)) + 15(1-\cos(3rt)) \\ - 3 \cdot 8a(\cos(rt) - \cos(3rt)) \end{array} \right\},$$

$$\rho_1(t) = \frac{r^2}{32 \cdot 64} \left\{ \begin{array}{l} (25 \cdot 81 - 5 \cdot 63 \cdot 8a - 32(8a)^2)(1 - \cos(3rt)) \\ + 8a(45 + 41 \cdot 8a)(\cos(rt) - \cos(2rt)) \\ - (8a)^2(1 - 3 \cdot 8a)(\cos(2rt) - \cos(3rt)) \\ + (8a)^3(5 + 8a)(1 - \cos(rt)) \end{array} \right\}, \quad (16)$$

$$\rho_2(t) = \frac{r^2 8a}{32} \cdot \frac{3(5-8a)}{8} \left\{ \begin{array}{l} 7 - 6\cos(rt) - 3\cos(2rt) \\ + 2\cos(3rt) \end{array} \right\}.$$

Предложен и реализован полностью дискретный алгоритм построения аналитических решений дифференциальных уравнений, описывающих когерентное возбуждение многоуровневых квантовых систем (моделей молекул) лазерным излучением – обобщенная полуклассическая задача Раби. Метод прост и физически содержателен.

Метод использует дискретное Фурье преобразование искоемых функций, и для построения их Фурье спектров строятся в пространстве Фурье дискретные ортогональные полиномы с простой процедурой введения свободных параметров. Это приводит к решению для семейства квантовых систем с разнообразными свойствами и возбуждаемых в разных условиях. Получены решения для систем с неэквидистантными уровнями как более реалистичных молекулярных моделей.

Алгоритм естественно разделяет квантовые системы на два класса – с однородным и неоднородным пространством Фурье и позволяет строить решение в обоих случаях.

Метод реализован с использованием системы компьютерной алгебры “*Mathematica*”.

УДК 517.977

С.И. Сиротко, доц., канд. физ.-мат. наук
(БГУИР, г. Минск)

К ЗАДАЧЕ ДВУХУРОВНЕВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Задачи двухуровневого программирования возникают при моделировании иерархических систем. Каждый уровень иерархии принимает свое решение, преследуя свои цели и использует имеющиеся у него возможности и ресурсы. Задача заключается в том, чтобы найти общее решение, которое приводит всю систему к достижению некоторой глобальной цели.

Пусть $x \in R^n$, $y \in R^m$, функции $G(x,y)$, $f(x,y)$ и $h_i(x,y)$ при $i \in I = \{1, \dots, p\}$ непрерывны вместе со своими производными по y . Рассмотрим задачу двухуровневого программирования (ЗДП):

$$G(x,y) \rightarrow \min, \quad x \in X \subset R^n, \quad y \in S(x) \quad \text{Arg} \min \{ f(x,y) \mid y \in F(x) \}$$

где $F(x) = \{ y \in R^m \mid h_i(x,y) \leq 0 \quad i \in I \}$.

Отметим, что, несмотря на внешнюю простоту постановки, решение ЗДП является весьма трудной задачей. Сформулируем задачу ЗДП в равносильной форме

$$G(x,y) \rightarrow \min_{x,y}, \quad x \in X, \quad y \in S(x) = \{ y \in F(x) \mid f(x,y) \leq \varphi(x) \},$$

где $\varphi(x)$ – функция оптимального значения задачи нижнего уровня, то есть $\varphi(x) = \min \{ f(x,y) \mid y \in F(x) \}$.

Пусть (x^0, y^0) – локальное решение задачи ЗДП. Задача ЗДП называется частично устойчивой (partial calm) в точке (x^0, y^0) [1,2], если существует число $\mu_0 > 0$ такое, что при всех $\mu \geq \mu_0$ точка (x^0, y^0) будет также локальным решением задачи

$$G(x,y) + \mu(f(x,y) - \varphi(x)) \rightarrow \min, \quad x \in X, \quad y \in F(x).$$

Таким образом, частично устойчивая задача ЗДП сводится к одноуровневой задаче с негладкой целевой функцией и может решаться эффективными методами. Условия, гарантирующие частичную устойчивость, представляют значительный интерес [3]. Известно [2], что двухуровневые задачи с линейной по x , y задачей нижнего

уровня являются частично устойчивыми. Однако, в общем случае частичная устойчивость отсутствует в ЗДП с линейной по y задачей нижнего уровня [3,4]. Ниже предлагается достаточное условие частичной устойчивости ЗДП на основе развитого в [5-8] условия R-регулярности многозначных отображений.

В случае многозначного отображения $M: x \mapsto M(x) \subset R^m$ будем обозначать область определения многозначного отображения M $dom M = \{ x \in R^n \mid M(x) \neq \emptyset \}$ и его график $gph M = \{ (x,y) \mid y \in M(x), x \in R^n \}$.

Определение 1. Многозначное отображение M называется полунепрерывным снизу (п.н.сн.) в точке $(x^0, y^0) \in gph M$ относительно $dom M$, если для любой окрестности $V(y^0)$ существует окрестность $V(x^0)$ такая, что $M(x) \cap V(y^0) \neq \emptyset$ для всех $x \in V(x^0) \cap dom M$.

Положим

$$h_0(x,y) = f(x,y) - \varphi(x), \quad I(x,y) = \{ i \in I \mid h_i(x,y) = 0 \}.$$

Определение 2. Многозначное отображение S удовлетворяет условию регулярности постоянного ранга (CRCQ) [5] в точке $(x^0, y^0) \in gph S$, если для любого множества индексов $K \subset I(x^0, y^0) \cup \{0\}$ система векторов $\{\nabla_y h_i(x,y) : i \in K\}$ имеет постоянный ранг для всех (x,y) из некоторой окрестности (x^0, y^0) .

В дальнейшем будем обозначать $I(x,y) = \{ i \in I \mid h_i(x,y) = 0 \}$, $V(x)$, $V(y)$ – окрестности точек x и y , $|v|$ – евклидову норму вектора v . Также обозначим через $d(v,C)$ евклидово расстояние от точки $v \in R^m$ до множества $C \subset R^m$.

Введем множество $D = \{ (x,y) \mid h_i(x,y) \leq 0 \ i \in I, x \in X \}$. Далее, принимается следующее обычное предположение [1] о задаче ЗДП: $X \subset dom S = dom F$.

Следующее утверждение представляет основной результат доклада.

Теорема 1. Пусть точка (x^0, y^0) является решением задачи ЗДП. Предположим, что многозначное отображение S п.н.сн. в (x^0, y^0) и удовлетворяет в этой точке условию регулярности CRCQ. Тогда найдется число $\mu_0 > 0$ такое что при любом $\mu \geq \mu_0$ точка (x^0, y^0) будет локальным решением задачи

$$G(x,y) + \mu(f(x,y) - \varphi(x)) \rightarrow \min, \quad (x,y) \in D.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Dempe, S. Foundations of Bilevel programming. / S. Dempe. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002.
2. Ye, J. J., Zhu, D. L. Optimality conditions for bilevel programming problems. // Optimization. 1995. 33. Pp. 9–27.

3. Mehlitz, P., Minchenko, L., Zemkoho, A. A note on partial calmness for bilevel optimization problems with linear structures at the lower level. // *Optimization Letters*. 2021. 15. Pp. 1277–1291.
4. Минченко, Л. И., Сиротко, С. И. О частичной устойчивости задач двухуровневого программирования с задачей нижнего уровня, линейной по основной переменной. // *Доклады НАН Беларуси*. 2019. 63(5). С. 526–532.
5. Luderer, B., Minchenko, L., Satsura, T. Multivalued analysis and nonlinear programming problems with perturbations. / B. Luderer, L. Minchenko, T. Satsura. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London, 2002.
6. Minchenko, L., Stakhovski, S. Parametric nonlinear programming problems under the relaxed constant rank condition. *SIAM J. Optimization*. 2011. 21. Pp. 1314–332.
7. Bednarczuk, E., Minchenko, L. I., Rutkowski, K. E. On Lipschitz-like continuity of a class of set-valued mappings. // *Optimization*. 2020. 69(12). Pp. 2535-2549.
8. Minchenko, L. I., Sirotko, S. I. [On Local Error Bound in Nonlinear Programs](#). // *Optimization and Applications: Proceedings of 12th International Conference (OPTIMA 2021)*, Petrovac, Montenegro, 27.09–1.10.2021. 2021. / In [Lecture Notes in Computer Science](#). 13078. Pp. 38–49.
9. Janin, R. Directional derivative of the marginal function in nonlinear programming. // *Mathematical Programming Studies*. 1984. 21. Pp. 110–126.

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Материалы докладов 86-ой научно-технической
конференции профессорско-преподавательского
состава, научных сотрудников и аспирантов
(с международным участием)**

Электронный ресурс

В авторской редакции

Компьютерная верстка:

*О.А. Новосельская, Н.В. Ржеутская, А.С. Пахолко,
И.К. Асмыкович, Д.В. Кучерова, Е.О. Черник*

Усл. печ. л. 15,11. Уч.-изд. л. 15,60.

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.