МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Том 7. IT-технологии и электроника

Сборник научных трудов
XX Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых

25–28 апреля 2023 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

Volume 7. IT-technologies and Electronics

Abstracts
XX International Conference of students, graduate students
and young scientists

April 25–28, 2023

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Национальный исследовательский Томский государственный университет

ТГАСУ

ТУСУР TUSUR UNIVERSITY
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

ТОМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Томск 2023

УДК 501:004(063)
ББК 72:32.81л0
П27

П27 **Перспективы развития фундаментальных наук** : сборник трудов XX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 25–28 апреля 2023 г.) : в 7 томах. Том 7. IT-технологии и электроника / под ред. И.А. Курзиной, Г.А. Вороновой. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2023. – 175 с.

ISBN 978-5-4387-1143-8 (т. 7)
ISBN 978-5-4387-1136-0

Сборник содержит труды участников XX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук», представленные на секции «IT-технологии и электроника».

Предназначен для студентов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей, специализирующихся в области интеллектуальных систем управления, автоматизированных систем обработки информации и управления, информационной безопасности, наноэлектроники, получения и исследования наноматериалов, оптоэлектроники и нанофотоники, плазменной эмиссионной электроники, интеллектуальной силовой электроники, СВЧ электроники, систем радиолокации, телевидения, радиосвязи, радиометрии и распространения волн радиочастотного и акустического диапазонов, а также импульсных и радиочастотных измерениях.

УДК 501:004(063)
ББК 72:32.81л0

ISBN 978-5-4387-1143-8 (т. 7)
ISBN 978-5-4387-1136-0

Tomsk International Science Program (TISP) «Molecular engineering»

The program is related to biological systems engineering. With the application of the concepts and methods of biology (and, secondly, physics, chemistry, mathematics and computer science) to solve actual problems related to the sciences of living organisms or their applications, using analytical and synthetic methodologies of engineering. Biological engineering mainly uses the rapidly developing field of molecular biology and chemoinformatics to study and develop the applications of living organisms.

Studying under this educational program is carried out in the form of full-time studying, including online studying and distance learning technologies. The program is based on problem-based learning (PBL) approach, which is more effective than traditional way of education. Students will actively acquire knowledge and skills needed for your career prospects, your future. With PBL, students are solving complex, interdisciplinary and real-life academic problems.

Full-time form of education

Duration of study - 4 years

Areas of professional activity: healthcare, food industry, chemical, chemical-technological production, cross-cutting professional activities in industry

Study language - English

Tuition fees: 289,510 rubles a year

Admission exams: 2 exams, of which mathematics (mandatory) and a choice of chemistry, physics or computer science. Taking exams online from January to August 2022

Program Application Deadlines: January 10 - August 20, 2022. Application Link https://admissions.tsu.ru/

Objective of the program: Training of a specialist in the field of molecular engineering, capable of conducting applied research focused on development for a specific task of the enterprise. The program is aimed at training specialists with good mathematical, chemical, biological and IT fundamental background.

Basic disciplines: chemistry, biology, bioinformatics, biochemistry, mathematics, computer science and basic programming, metabolomics, organic synthesis, biomaterials science, applied medical biotechnology, large workshop on medical biotechnology.

The objects of professional activity of graduates are: microorganisms, cellular structures of animals and plants, viruses, enzymes, biologically active chemicals; devices and equipment for studying the properties of used microorganisms, cellular structures and substances obtained with their help in laboratory and industrial conditions; plants and equipment for biotechnological processes; means of quality control of raw materials, semi-finished products and finished products. The field of activity of graduates extends from the creation of artificial organs using technical means or the search for ways to grow organs and tissues using regenerative medicine methods to compensate for reduced or lost physiological functions (biomedical engineering) and to the development of genetically modified organisms, for example, agricultural plants and animals (genetic engineering), as well as molecular design of compounds with desired properties (chemoinformatics, protein engineering, engineering enzymology).

Places for internships for students and subsequent employment of graduates:

Pharmaceutical companies, biotechnology companies, Research Medical Centers, scientific laboratories. Graduates of the undergraduate program can continue their studies at the master's program at TSU or other universities. From the 4th year there is a selection for the double degree program (TSU-France, ParisTech University) «Translational chemical and biomedical technologies» of the master's level.

tisp_tsu

tisp.tsu

tsuTISP

tisp.tsu.ru/apply/

Национальный исследовательский Томский государственный университет

АВТОНОМНАЯ МАГИСТЕРСКАЯ ПРОГРАММА «ТРАНСЛЯЦИОННЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ И БИОМЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Химический факультет

САЕ Институт «Умные материалы и технологии»

Направление подготовки	Химия
Факультет	Химический факультет
Форма обучения	Смешанный формат обучения
Продолжительность программы	2 года
Язык обучения	Русский
Бюджетные места	20

Условия приёма

Приём на первый курс магистратуры проводится на конкурсной основе по заявлениям лиц, имеющих высшее образование. Победители и призеры олимпиад «Магистр ТГУ», «Химия биотехнологий», «Я - профессионал» имеют возможность получить максимальный балл за вступительный экзамен.

Вступительные испытания: экзамен по химии, собеседование.

Магистерская программа включает возможность обучения по программе двойного диплома совместно с университетом Chimie ParisTech (Франция). За период обучения по одной программе магистратуры можно получить дипломы двух Университетов, углублено освоить курсы химической технологии и инженерии материалов.

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРОГРАММЫ

- Обучение на базе научных центров ТГУ и Томского НИЦМ, университетов Гейдельберга и Мюнстера (Германия)
- Ведущие зарубежные и российские специалисты
- Индивидуальная образовательная траектория
- Более 30% учебных дисциплин составляют курсы по выбору
- Виртуальные лаборатории Labster (Технический университет Дании)
- Востребованность специалистов по трансляционным химическим и биомедицинским технологиям

КЛЮЧЕВЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ ПРОГРАММЫ

- **Основы общей иммунологии**
- **Введение в медицинскую биологическую химию**
- **Молекулярные методы в биомедицинских исследованиях**
- **Основы клеточной биологии и диагностики клеточных систем**
- **Химические технологии в медицине**
- **Основы биоинформатики**
- **Биоматериаловедение**
- **Прикладная биоинформатика**
- **Физико-химические методы анализа органических соединений и фармацевтических субстанций**
- **Молекулярная онкология**

ВЕДУЩИЕ ПРЕПОДАВАТЕЛИ

Курзина Ирина Александровна

Руководитель магистерской программы;
д.ф-м.н., доцент, заведующая базовой кафедрой природных соединений, фармацевтической и медицинской химии ХФ ТГУ, зам. заведующего лабораторией трансляционной клеточной и молекулярной биомедицины, НИ ТГУ, Томск, Россия.

Кжышковска Юлия Георгиевна

Соруководитель магистерской программы;
д.б.н., профессор, зав. лабораторией трансляционной клеточной и молекулярной биомедицины, НИ ТГУ, Томск, Россия.
Университет Гейдельберга, Медицинский факультет, Заведующая Отделом Врожденного Иммунитета и Иммунологической Толерантности Института Трансфузионной Медицины и Иммунологии, Маннгейм, Германия.

Рябов Вячеслав Валерьевич

д.м.н., заместитель директора по научной и лечебной работе НИИ кардиологии Томского НИМЦ, и. о. руководителя отделения неотложной кардиологии, профессор кафедры кардиологии ФПК и ППС СибГМУ, в. н. с. лаборатории трансляционной и клеточной биомедицины НИ ТГУ.

Чурина Елена Георгиевна

д.м.н., профессор кафедры органической химии ХФ ТГУ, врач иммунолог-аллерголог, профессор кафедры патофизиологии СибГМУ, член российской ассоциации аллергологов и клинических иммунологов, Томск, Россия.

Хайнрих Лотар Альфред

д.х.н., в.н.с. лаборатории трансляционной клеточной и молекулярной биомедицины НИ ТГУ, Томск, Россия
President of marcotech oHG, Honorary professor of the Westphalian Wilhlems University, Muenster Руководитель блока инновационных материалов для регенеративной медицины, Мюнстер, Германия

Магистратура «Трансляционные химические и биомедицинские технологии» – это:

- междисциплинарные знания на стыке химии, биологии, фармакологии, клеточной и молекулярной биомедицины
- компетенции по проведению доклинических и клинических испытаний, разработка технологического регламента, сертификации, маркетингу и малотоннажному производству продукта
- стажировки в ведущих мировых университетах
- диплом международного уровня
- работа с новыми технологиями
- освоение полного цикла получения продукта: синтез-исследование, доклинические исследования, сертификация, маркетинг

КОНТАКТЫ

Менеджер программы: **Шаповалова Елена, +7 (953) 928 15 49, egshapovalova@yandex.ru**
Заявки оставляйте на сайте: **chembiomed.ru или через telegram-бота @smti_tsu_bot**

chembiomed.ru **chembiomed**

Westfälische Wilhelms-Universität Münster · Universität Heidelberg · Universiteit Leiden · Chimie ParisTech · Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук · ИФАР · АЛФАРМ ООО «АЛФАРМ» (г. Москва) · Solagift · Арт Лайф · Фармконтракт группа компаний · Органика · ЛПиКМ · Лаборатория трансляционной клеточной и молекулярной биомедицины · Лаборатория физико-химических методов анализа · BIOCAD Biopharmaceutical Company

Инженер-технолог

Инженер-разработчик

Инженер-исследователь

СОРБЕНТЫ • ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА • НАНОСТРУКТУРНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ
ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ • НОВЫЕ ТИПЫ МАТЕРИАЛОВ
ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНЫЙ КУРС • ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Дополнительная профессиональная образовательная программа профессиональной переподготовки по теме

«МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ И СОРБЕНТОВ ДЛЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА»

- Основана на компетентностном подходе
- Использует вариативно-модульный принцип построения образовательного процесса
- Выбор модуля обеспечивает формирование требуемых профессиональных компетенций
- Содержание программы разработано в соответствии с потребностями предприятий-производителей катализаторов и сорбентов.

Руководитель программы:
Курзина Ирина Александровна
Kurzina99@mail.ru
Томский государственный университет
САЕ Институт «Умные материалы и технологии»
г. Томск, пр. Ленина, 36

National Research Tomsk State University

SM&T САЕ Институт «Умные материалы и технологии»

ФОНД ИНФРАСТРУКТУРНЫХ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ
Группа РОСНАНО

г. Томск

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 621.372.2

ОЦЕНКА ЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ ПОСРЕДСТВОМ ЛИЦЕВОЙ СВЯЗИ

К.Н. Абрамова

Научный руководитель: доцент, д.т.н. Т.Р. Газизов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: akn@tu.tusur.ru

ASSESSMENT OF THE PROTECTIVE PERFORMANCE OF A PRINTED CIRCUIT BOARD WITH MODAL RESERVATION BY MEANS OF BROAD SIDE COUPLING

K.N. Abramova

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Dr. T. R. Gazizov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: akn@tu.tusur.ru

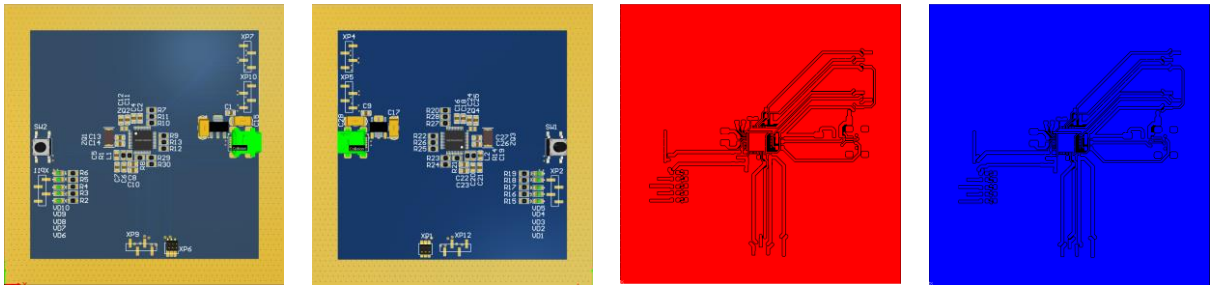
Abstract. *The results of application of modal reservation with broad-side coupling on a test PCB are presented. Evaluation of protective characteristics of this PCB has been performed. Particularly the modal per-unit-length delays and their difference, the difference of modal delays for a line of a particular length and the geometric mean values of modal wave impedances have been obtained.*

Введение. Для повышения помехоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) применяют резервирование – две или более копии резервируемого устройства. При выходе из строя резервируемого устройства подключается его резервная копия, что позволяет продолжить работу в том же режиме без необходимости остановки для проведения диагностики и замены неисправного оборудования. В работе [1] предложен способ повышения надежности РЭА, основанный на холодном резервировании с применением модальной фильтрации – модальное резервирование (МР). МР представляет собой способ трассировки, в котором предполагается наличие двух печатных проводников (резервируемого и резервного), между которыми образуется сильная электромагнитная связь, что позволяет за счет модальных искажений реализовать защиту РЭА от сверхкороткого импульса (СКИ). В работе [2] приведен общий обзор МР и исследований его применения в отношении излучаемых помех. Однако не были рассмотрены реализация МР и исследование защитных характеристик на конкретной печатной плате (ПП).

Целью данного исследования является реализация ПП с МР с лицевой связью и оценка ее защитных характеристик.

Экспериментальная часть. Для реализации МР с лицевой связью выбрана измерительная ПП, предназначенная для проведения испытаний на электромагнитную совместимость [3]. Размещение компонентов резервной схемы выполнено полностью симметрично на противоположных сторонах относительно исходной ПП. Таким образом, микроконтроллер и все периферийные компоненты резервной схемы расположены на нижней стороне ПП, а соединители – на верхней. Размещение резервных компонентов на противоположном слое ПП выполнено с учетом того, что каждый номер

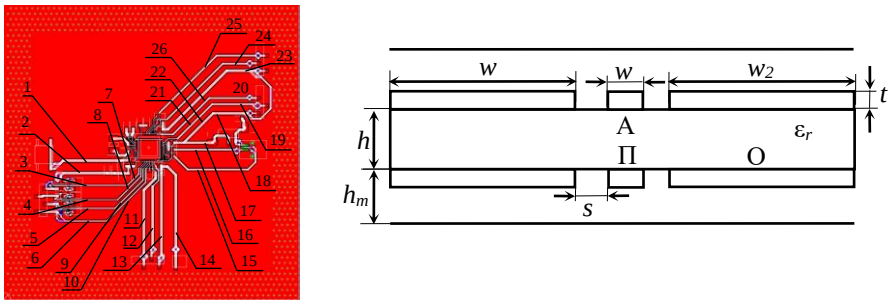
вывода резервируемого компонента совпадает с номером вывода резервного компонента. При таком размещении компонентов габариты ПП остались неизменными (рис. 1а, б). Топология слоев измерительной ПП с МР показана на рис. 1в, г. Трассировка резервной цепи выполнена на нижнем слое ПП, а резервируемой – зеркально, на верхнем.



(а) (б) (в) (г)

Рис. 1. Трехмерная модель и топология верхней (а, в) и нижней (б, г) сторон измерительной ПП с МР

Для оценки защитных характеристик разработанной измерительной ПП с МР с лицевой связью выполнено моделирование поперечного сечения каждой пары одноименных трасс (резервируемого и резервного проводников) в системе TALGAT. На рис. 2а показан верхний слой измерительной ПП с пронумерованными сигнальными трассами. Каждый сигнальный проводник имеет резервный, который находится точно под ним на нижнем слое ПП. На рис. 4б приведено поперечное сечение моделируемых структур со следующими параметрами: расстояние между проводниками s = 200 мкм, толщина проводника t=35 мкм, толщина диэлектрика h=0,18 мм, толщина паяльной маски h_m = 30 мкм, диэлектрическая проницаемость ε_r=4,7. Ширина сигнальных проводников (резервируемого и резервного) w, ширина опорных проводников w_1, w_2 и длина линий задаются индивидуально для каждого проводника.



(а) (б)

Рис. 2. Сигнальные трассы измерительной ПП с МР (а),
поперечное сечение исследуемой структуры с учетом паяльной маски (б)

Результаты. В табл. 1 приведены результаты моделирования сигнальных линий измерительной ПП с МР с лицевой связью, а именно погонные задержки мод (τ_1, τ_2) и их разность ($\Delta\tau$), разность задержек ($\Delta\tau l$) в линии длиной l и среднее геометрическое (Z) значение волновых сопротивлений мод.

Заключение. В результате разработана ПП с МР с лицевой связью, где размещение компонентов и трасс попарно симметрично относительно ПП. Оценка защитных характеристик ПП с МР показала, что, разность погонных задержек, в среднем, около 1,3 нс/м и достигает 1,51 нс/м, что является хорошим результатом (для стеклотекстолита с низким значением $\varepsilon_r = 4{,}7$). Максимальная длина трассы, в силу специфики ПП, мала (около 40 мм). Максимальная разность задержек мод, достигает 53 пс, что говорит о возможности модального разложения СКИ не более такой длительности.

Таблица 1

Результаты моделирования сигнальных линий измерительной ПП с МР с лицевой связью

№	w, мм	l, мм	w_1, мм	w_2, мм	τ_1,нс/м	τ_2,нс/м	$\Delta\tau$,нс/м	$\Delta\tau l$,пс	Z,Ом
1	1	19,34	42,1	2,71	5,38	6,89	1,51	29	30,7
2	1	14,48	2,7	2,91	5,39	6,89	1,5	22	30,8
3	0,5	15,37	2,9	3,94	5,59	6,78	1,18	18	41,7
4	0,4	13,81	3,9	1,99	5,66	6,74	1,08	15	45,6
5	0,5	12,49	1,9	3,3	5,59	6,78	1,19	15	41,7
6	0,5	15,79	3,3	16,4	5,59	6,78	1,19	19	41,7
7	0,5	7,21	1,1	0,12	5,66	6,78	1,12	8	42,3
8	0,5	13,55	0,1	0,48	5,69	6,78	1,08	15	42,5
9	0,5	16,97	0,5	0,19	5,67	6,78	1,11	19	42,3
10	0,5	22,59	0,2	2,14	5,63	6,78	1,15	26	42,0
11	1	26,36	36,2	1,5	5,39	6,89	1,50	40	30,7
12	1	19,9	1,5	1,52	5,40	6,89	1,49	30	30,8
13	1	27,4	1,5	3,37	5,39	6,89	1,50	41	30,8
14	1	27,8	3,4	31,6	5,38	6.89	1,51	42	30,7
15	0,7	29,8	33,6	5,5	5,49	6,83	1,34	40	36,1
16	0,7	20,1	5,5	1,1	5,49	6,83	1,34	27	36,2
17	0,9	12,55	1,5	1,1	5,44	6,87	1,43	18	32,4
18	0,9	25,2	1,2	6,9	5,42	6,87	1,45	37	32,3
19	0,7	14,4	0,9	1,9	5,51	6,83	1,32	19	36,3
20	0,7	12,4	7,5	0,9	5,49	6,83	1,34	16	36,2
21	0,7	17,1	1,1	0,9	5,51	6,83	1,32	23	36,3
22	0,7	16,2	1	1,2	5,51	6,83	1,32	21	36,3
23	1	9,2	1,1	7,8	5,39	6,89	1,50	14	30,9
24	0,7	34,1	2,3	1,3	5,50	6,83	1,33	45	36,2
25	0,7	39,7	7,3	2,3	5,49	6,83	1,34	53	36,1
26	1	27,6	1,3	1,1	5,41	6,89	1,48	41	30,9

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда проект №19-19-00424-П, (https://rscf.ru/project/22-19-35072/) в ТУСУРе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газизов Т.Р., Орлов П.Е., Заболоцкий А.М., Буичкин Е.Н. Новый способ трассировки печатных проводников цепей с резервированием // Доклады ТУСУР. – 2015. – №3(37). – С. 129-131.
2. Alhaj Hasan A., Gazizov T.R. Ensuring the Reliability and EMC by Modal Reservation: A Brief History and Recent Advances// Symmetry. – 2022. – V. 14., № 2466. – P. 1–27.
3. Попов П.А., Третьяков Т.И., Демаков А.В. Разработка измерительных печатных плат для испытаний интегральных схем на электромагнитную совместимость в ТЕМ-камере // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2021. – № 1-2. – С. 30–33.

УДК 004.93

PYDIC: A FREE AND OPEN SOURCE CODE VERIFICATION FOR STRAIN FIELD MEASUREMENTS

A.F. Abouellail
Scientific Supervisor: Prof., Dr. M.V. Trigub
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: abuellail@tpu.ru

PYDIC: БЕСПЛАТНЫЙ И ОТКРЫТЫЙ ИСХОДНЫЙ КОД ВЕРИФИКАЦИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ

А. Ф. Абуеллаил
Научный руководитель: профессор, д.т.н. М.В. Тригуб
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: abuellail@tpu.ru

Аннотация. *Современные персональные компьютеры с высокопроизводительными процессорами позволяют применять передовые технологии в области испытаний и инспектирования в гражданском строительстве и машиностроении. Цифровая корреляция изображений (DIC) в настоящее время является одним из наиболее экономичных и удобных в использовании оптических и бесконтактных методов измерения поля напряжении. Pydic - это бесплатный Python-код с открытым исходным кодом для локального 2D DIC, разработанный Дэмиеном АНДРЕ, SPCTS/ENSIL-ENSCI, Лиможж, Франция. Pydic основан на OpenCV, это хорошо известная библиотека компьютерного зрения и машинного обучения с открытым исходным кодом. В этой работе код Pydic был проверен для измерений поля напряжении с использованием набора крапчатых изображений, предоставленных SEM DIC вызов. Тот же набор изображений был использован для расчета поля напряжений с помощью программного обеспечения GOM. Оценка точности была произведена путем сравнения результатов кода Pydic и программного обеспечения GOM. Кроме того, при сравнении были приняты во внимание результаты, опубликованные в отчете 'DIC challenge report'. Результаты показывают приемлемое совпадение при визуальном сравнении. Были выделены слабые стороны кода Pydic и обсуждена будущая работа по улучшению кода.*

Introduction. Large structures such as a concrete structure and steel structure are operating under different types of loading. During the operation time of the huge structures under the influence of loads, the structure components are deformed according to the case of loading and some factors related to the structural component itself. Monitoring the deformation of the structural component in different cases of loading is very necessary to predict cracks which needs to apply the required maintenance to this component and to avoid sudden failure of the whole structure. Testing techniques can provide information about the real time strain and deformation of the structural component under the load, however the traditional testing techniques such as extensometer and strain gage are limited. The solution came with the optical inspection techniques such as digital image correlation (DIC). Digital Image Correlation (DIC) is a non-interferometry technique and it is also

called the white light speckle technique [1]. Digital Image Correlation is based on comparison between two images for the tested specimen surface before and after deformation. DIC is a non-contact method and this makes it a sufficient testing method to overcome the limitation of the traditional technique. DIC technology can provide a real time displacement field and strain field measurements for the region of interest ROI.

Digital image correlation method mainly consists of the following two parts: obtaining the speckled images of the tested surface before and after the deformation and the image processing using software codes. The image processing using codes is the main topic of this article. Codes for commercial purposes are validated during many experiments, while the open source codes are also usable for a specific task but need to be validated for other tasks. An open source code Pydic was validated comparing to other commercial code GOM correlate.

Pydic code is an open source code written in the Python language. Pydic based on some Python packages such as Numpy, Scipy, Matplotlib, and OpenCV. Pydic could be used to correlate a set of images to obtain the displacement field and strain field using local digital image correlation. Pydic can visualize the strain field results due to Matplotlib package. Pydic is stored in gitlab (https://gitlab.com/damien.andre/pydic/). This work is considered as only a trail to focus on some weaknesses in the open source codes such as Pydic and is aimed to improve this code in the future work.

Methodology. The validation of Pydic code (open source code) was done by comparing the strain field results obtained by Pydic with GOM correlate (commercial code) results. The set of images for the tensile test was obtained from the DIC challenge board. The DIC challenge was created and developed by the society of experimental mechanics (SEM) through cooperation with the international DIC society (iDICs) [2]. Moreover, the DIC challenge has published a result using different code (2D-DIC challenge- MATLAB analysis code). This result is also considered in the validation of Pydic code alongside with the results obtained from the GOM correlate code. The methodology describes image processing stage using the two codes and adjusting the user defined variables such as the subset size (window size), step size, strain type and interpolation type. No calibration was made for the reference image since it was not necessary for 2D-DIC. The strain calculation method was the subset shape function which means that the virtual strain gauge size is equal to the chosen subset size in each case. The user-defined parameters such as subset size, step size and the strain type were chosen according to the recommendations of the practice guide of Digital Image Correlation [3].

For Pydic code the subset size was set at 70*70 pixels for the interpolation cubic type and the step size 35*35 pixels. The correlation by Pydic code was repeated using subset size 70*70 pixels and the step size 35*35 with the interpolation of spline type. By running the Pydic code, the correlation algorithm follows the movement of each subset in the image series. The displacement field results in x direction were saved automatically to the image folder. The strain field was calculated due to Numpy package also the strain field E_{xx} was visualized and saved from Matplotlib interface.

The GOM Correlate software 2022 was used to compute the strain field results using the same user defined parameters as Pydic code

Results. The strain fields E_{xx} were computed using both the Pydic open source code and the GOM correlate software with nearly the same user-defined parameters except the used interpolation type. The results of the both codes show a good agreement by the visual comparison. Also the results of the strain field E_{xx} published on the DIC challenge report [2] show a good agreement with the results computed by the both codes.

The computed strain field E_{xx} by GOM software shows the most accurate and reliable results due to the advanced interpolation Bi-cubic. While increasing, the subset size results in the so-called edges problem.

The interpolation of cubic type is available with Pydic code, which gives the best refinement for the results after deformation and distortion happened to the image pixels. Some areas with dark purple on the right side of the image and dark red on the left side show the difference between the Pydic code results and GOM software results.

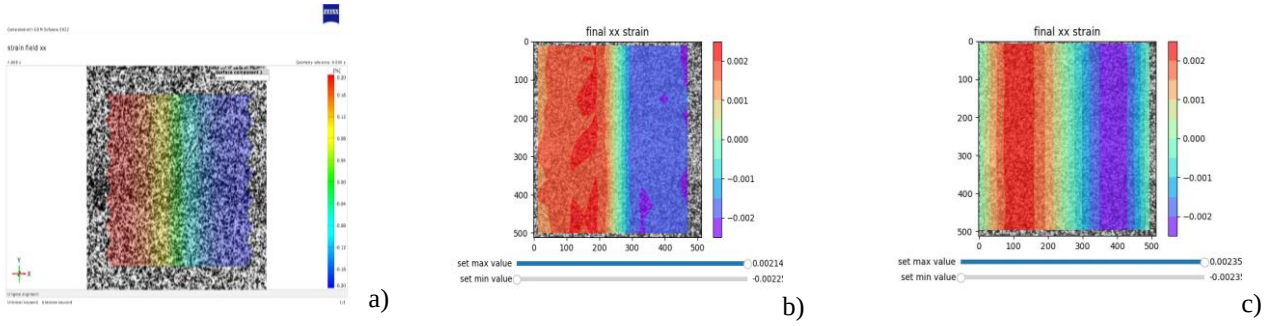


Fig. 1. The strain field E_{xx} results computed for sample 11b from SEM DIC challenge obtained from the DIC technique [2]. *(a) GOM software results using Bi-cubic interpolation (b) Pydic code results using Cubic interpolation (c) Pydic code results using Spline interpolation*

Conclusion. It could be explained that the dark purple and the dark red areas are the missing values in correlation and the difference between interpolation methods resulting into different values. The Cubic interpolation finds the missing values depending on the neighboring values from one direction while the Bi-cubic interpolation finds the missing values depending on the neighboring values in both directions which means more smoothing for the results.

The last results computed with Pydic code using spline interpolation show the deviation between the Pydic code and the other commercial codes. The deviation results from the nature of Spline interpolation which is not the best choice for this kind of task. This example proves the significant effect of the interpolation on the DIC results.

Future work. The open source code (Pydic) shows acceptable results for this task. However, some improvements are required to be made, which is considered as a future work. Integration of more advanced and optimized interpolation will help to improve the results for similar tasks. Automatic calculation for the optimum subset size and step size depending on the DIC pattern size and density is also a target for the future work.

REFERENCES

1. Sutton, M.A., Schreier, H.W., Orteu J.-J. (2009) Image correlation for shape, motion and deformation measurements : basic concepts, theory and applications. Springer, 321 p.
2. Reu, P.L. et al. (2018) DIC Challenge : Developing Images and Guidelines for Evaluating Accuracy and Resolution of 2D Analyses, pp. 1067–1099.
3. Jones, E.M.., Iadicola, M.A. (2018) A Good Practices Guide for Digital Image Correlation: Standardization, Good Prictices, and Uncertainty Qualifivation Comittee // Int. Digit. Image Correl. Soc, 101 p.

УДК 537.525

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АЗОТИРОВАНИЯ СТАЛИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В ФОРВАКУУМНОЙ ОБЛАСТИ ДАВЛЕНИЯ

А.А. Андронов, А.А. Поник
Научный руководитель: профессор, д.т.н. Ю.Г. Юшков
Томский государственный университет систем электроники и радиотехники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: artem.andronov.98@bk.ru

INVESTIGATION OF THE PROCESSES OF NITRIDING OF STEEL BY AN ELECTRON BEAM IN THE FOREVACUUM PRESSURE REGION

A.A. Andronov, A.A. Ponik
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Yu.G. Yushkov
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: artem.andronov.98@bk.ru

Abstract. *In order to optimize the nitriding process, experimental studies of plasma nitriding of seven 40X alloy steel samples using a forevacuum electron source were carried out. The process parameters were systematically changed. The elemental composition of experimental samples after nitriding at different temperatures was obtained using scanning electron microscopy. Hardness depth profiles were obtained, and it was shown how the temperature and time of the process affect the composition of the sample and its microhardness.*

Введение. Азотирование – это метод обработки поверхности, используемый для введения азота в металлические материалы с целью улучшения их поверхностной твердости, механических свойств, износостойкости и коррозионной стойкости. Общепринятые методы азотирования включают газовое азотирование [1], плазменное азотирование [2], лазерное азотирование [3], а также имплантацию азота [4]. Вышеуказанные способы хорошо зарекомендовали себя, некоторые из них имеют недостатки с инженерной точки зрения, например, они могут потребовать использования довольно сложного и/или дорогостоящего устройства, более энергозатратны и неэкологичны. Одним из перспективных и наиболее современным из применяемых методов азотирования стальных деталей является азотирование в плазме электронного пучка в форвакуумном диапазоне давлений. Фактически, этот процесс на самом деле является процессом электронно-лучевого нагрева в вакууме и имеет преимущества благодаря быстрому безынерционному достижению предельно высоких температур и легкости регулирования нагрева в широком диапазоне температур. Так же благодаря высокой концентрации плазмы образуется большое количество атомарного азота (по отношению к молекулярному), что обеспечивает наилучшую диффузию атомов азота в верхние слои испытуемого образца стали.

Экспериментальная часть. На рисунке 1 представлена фотография экспериментальной установки по азотированию легированной стали марки 40Х. Установка состоит из источника электронов 1, вакуумной камеры 2, система фокусировки пучка 3, система отклонения пучка 4, регулятора расхода газа 5, пирометра 6. Предварительно камера окачивалась до давления 10^{-5} Па. Далее запускался газ, азот особой чистоты (99,999%), до давления 5 Па. Регулировка напуска газа осуществлялась с помощью РРГ. Сталь

цилиндрической формы (цилиндр высотой 10 мм и диаметром 12 мм), размещалась внутри камеры на танталовом тигле. Форвакуумный источник электронов [5] генерировал электронный пучок, ток которого составлял 100 мА, прим энергии электронов до 5 кэВ. Он нагревал образец стали до нужной температуры. Параметры пучка выбирались в соответствии с исследуемой температурой образца. Температура контролировалась с помощью пирометра, так же для более точного результата использовалась термопара.

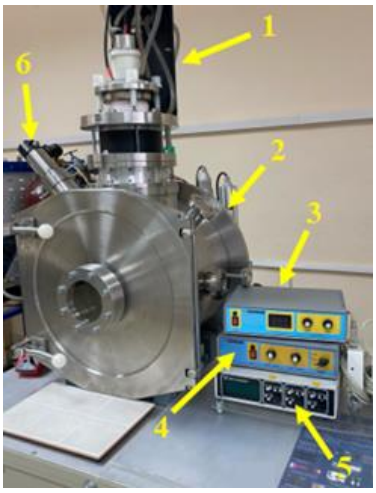


Рис. 1. Фотография экспериментальной установки: 1-источник электронов, 2-вакуумная камера, 3- система фокусировки пучка, 4- система отклонения пучка, 5- регулятора расхода газа, 6-пирометр

Результаты. На рисунке 2 представлена зависимость концентрации элементов, содержащихся в исходном образце и в проазотированных образцах при разной температуре. Из графиков видно, что при росте температуры до 520 °С концентрация азота увеличивается и достигает своего максимума. При дальнейшем повышении температуры азот продолжает диффундировать во внутрь образца, и концентрация его на поверхности уменьшается. При температуре 580 °С из глубинных слоев образца легированной стали на поверхность поднимаются частицы хрома, при взаимодействии хрома и атомарного азота, проникающего внутрь, на поверхности образца возникает слой с повышенной микротвердостью. Пониженное содержание хрома и азота при температуре белее 580 °С обуславливается отпуском стали и прекращением процесса азотирования.

Для определения микротвердости использовался микротвердомер ПМТ-3. На рисунке 3 представлены результаты измерения твердости азотированных образцов стали марки 40Х. Измерения проводились по методу Виккерса. Суть метода заключается во вдавливании алмазной пирамидки с нагрузкой 100 г в поверхность образца. Далее по отпечатку определялось значение твердости.

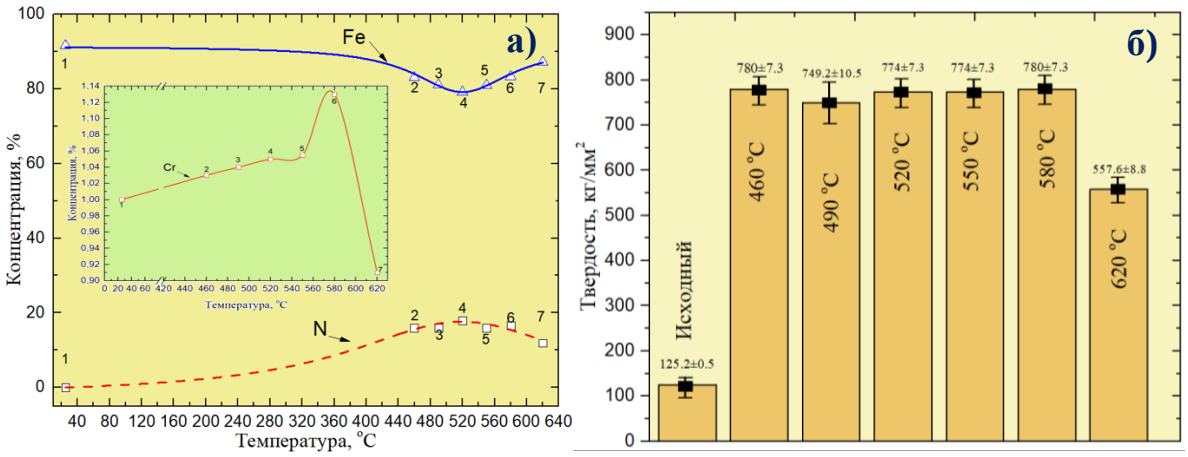


Рис. 2. а) Зависимость концентрации элементов от температуры образца

б) Результаты измерения твердости

Установлено, что наибольшая твердость получается при температурах 460 °C, 520 °C, 550 °C, 580 °C. Это связанно с тем, что атомы хрома взаимодействуют с большим количеством атомарного азота, образуя твердый раствор на поверхности.

Заключение. В результате исследований, было показано, что при азотировании стали марки 40Х в плазме электронного пучка, генерируемого в форвакуумной области давлений, твердость азотированных образцов увеличивается более чем в 6 раз по сравнению с твердостью поверхности исходного образца. Так же удалось выявить зависимость концентрации атомов азота и хрома в образце от температуры, что бы было возможно оптимизировать процесс и добиться наилучших результатов. Дальнейшие исследования будут направлены на сокращение времени процесса и увеличение характеристик стали.

Работа поддержана грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках конкурса FEWM-2021-0013.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев А.А.; Шулаев В.М.; Саблев Л.П. Азотирование сталей в газовом дуговом разряде низкого давления // Физическая инженерия поверхности. – 2006. – Т. 4, № 3-4. – С. 191–197.
2. Roliński E. Effect of Plasma Nitriding Temperature on Surface Properties of Austenitic Stainless Steel // Surface Engineering. – 1987 – V. 3, Issue 1, – P. 35 – 40.
3. Peter Schaaf. Laser nitriding of metals // Progress in Materials Science. – 2002. – V. 47, Issue 1. – P. 1-161.
4. Moncoffre N., Hollinger G., Jaffrezic H., Marest G., Tousset J. Temperature influence during nitrogen implantation into steel // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms – 1985. – V. 7–8, Part 1, P. 177-183.
5. Yushkov Y.G., Oks E.M., Tyunkov A.V. [et al.] Deposition of boron-containing coatings by electron-beam evaporation of boron-containing targets // Ceramics International. – 2020. – Vol. 46., № 4. – P. 4519-4525. DOI 10.1016/j.ceramint.2019.10.179.

УДК 537.533

ВЛИЯНИЕ ТОКА СФОКУСИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА В УЗКОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ТРУБКЕ

И.Ю. Бакеев, Е.А. Иваненко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: bakeeviyu@mail.ru

EFFECT OF THE CURRENT OF A FOCUSED ELECTRON BEAM ON THE DISTRIBUTION OF A NON-SELF-SUSTAINED GLOW DISCHARGE IN A NARROW METAL TUBE

I.Yu. Bakeev, E.A. Ivanenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: bakeeviyu@mail.ru

Abstract. *A threshold change in the distribution of a non-self-sustained glow discharge in a tube, initiated by a focused electron beam in the fore-vacuum pressure region, as the beam current increases, is demonstrated. At low beam currents, the discharge in the tube burns mainly in the upper part of the tube, and a further monotonic decrease in the current in the section is observed. When the beam current exceeds 15 mA, the discharge burns in the tube to the upper and lower anodes, which leads to an increase in the discharge current to the lower sections of the tube.*

Введение. Электронные пучки, генерируемые форвакуумными плазменными источниками электронов [1], могут использоваться в качестве эффективного ионизатора рабочего газа, и генерации тем самым плотной плазмы, способной производить ионно-плазменную обработку различных изделий. В работе [2] продемонстрирована возможность использования сфокусированного электронного пучка для ионизации рабочего газа внутри узкой металлической трубки, что способствует дальнейшему инициированию несамостоятельного тлеющего разряда между трубкой и стенками вакуумной камеры. Использование электронного пучка в качестве дополнительного источника ионизации позволяет осуществить инициирование разряда в трубке при значительно меньших диаметрах трубки, по сравнению с другими способами [3]. Ключевым вопросом при этом является однородность распределения плазмы в трубке, создаваемой таким разрядом. Так в [2] представлены результаты, посвященные исследованию распределения разряда в трубке в зависимости от потенциала трубки и давления рабочего газа, влиянию параметров электронного пучка на функционирование несамостоятельного разряда в трубке, помимо его инициирующей роли, не уделено внимания.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании характера влияния тока сфокусированного электронного пучка на распределение несамостоятельного тлеющего разряда в узкой металлической трубке.

Экспериментальная часть. Схема проведения исследований распределения несамостоятельного разряда в узкой металлической трубке, инициируемого сфокусированным электронным пучком, представлена на рис. 1. Форвакуумный плазменный источник *1* сфокусированного электронного пучка *2*

располагался на верхнем фланце вакуумной камеры. Подробное описание конструкции форвакуумного источника электронов (позиции *1-10* на рис. 1) и принципа его работы изложено в [1].

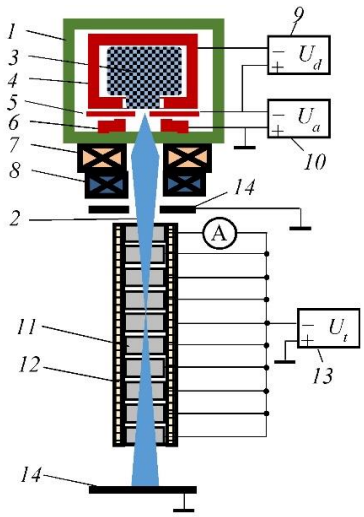


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – форвакуумный плазменный источник электронов; 2 – сфокусированный электронный пучок; 3 – эмиссионная плазма; 4 – полый катод; 5 – анод с центральным эмиссионным каналом; 6 – экстрактор; 7 – магнитная фокусирующая линза; 8 – магнитная отклоняющая система; 9 – источник питания разряда; 10 – источник ускоряющего напряжения; 11 – металлические изолированные секции; 12 – керамическая трубка; 13 – источник питания трубки; 14 – анод

Эксперименты производились при использовании секционированной трубки протяженностью 300 мм, состоящей из 10 секций *11* из нержавеющей стали с внутренним диаметром 10 мм. Секции располагались соосно благодаря их монтированию внутри керамической трубки *12*, производящей электрическую изоляцию секций между собой. На секции подавалось отрицательное относительно стенок камеры напряжения 300 В источником питания *13*. В случае зажигания несамостоятельный тлеющий разряда замыкался на верхний и нижний аноды *14*, которыми выступали стенки вакуумной камеры и водоохлаждаемый коллектор, принимающий электронный пучок после прохождения через трубку. Распределение разряда производилось на основе токовых измерений. В разрыв цепи одной из секций подключался амперметр (на рис. 1 представлен пример измерения для верхней секции), фиксирующий ток I_s на эту секцию, представляющий собой ток ионов из плазмы. Переключая поочередно амперметр на каждую секцию снималось распределения тока разряда, приходящегося на каждую секцию.

Результаты. На рис. 2 представлены распределения разряда в трубке при различных токах пучка. Как видно, наблюдается два характера распределения: монотонное распределение при относительно малых токах пучка и немонотонное распределение с максимальными значениями на концах трубки при превышении током пучка 15 мА. Подобные распределения уже демонстрировались в работе [2], однако на вид распределения влиял лишь диаметр трубки. Данные же результаты свидетельствуют об эволюции разряда при увеличении тока пучка: первоначально разряда горит в верхнем конце трубки замыкаясь лишь

на верхний анод, при увеличении тока пучка разряд проникает глубже в трубку и в конечном счете замыкается на нижний анод, тем самым повышая потенциал плазмы в нижней части трубки и усиливая ионизационные процессы за счет увеличения энергии вторичных электронов.

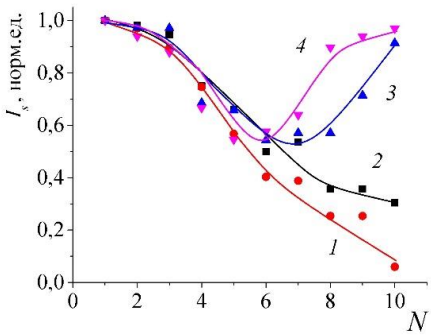


Рис. 2. Распределение разряда в трубке $I_s(N)$ для различных токов пучка I_b: 1 – I_b = 6 мА; 2 – I_b = 8 мА; 3 – I_b = 15 мА; 4 – I_b = 19 мА. Азот, давление 10 Па

Заключение. Продемонстрировано пороговое изменение распределения несамостоятельного тлеющего разряда в трубке, инициируемого сфокусированным электронным пучком в форвакуумной области давлений, по мере увеличения тока пучка. При первоначальном инициировании при относительно малых токах пучка разряд в трубке горит преимущественно в верхней части трубки и наблюдается дальнейшее монотонное уменьшение тока на секции. При превышении током пучка значения 15 мА реализуется режим горения разряда в трубке на верхний и нижний аноды, приводящего к росту тока разряда на нижние секции трубки.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 21-79-10217.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bakeev I.Y., Klimov A.S., Oks E.M., Zenin A.A. Generation of high-power-density electron beams by a forevacuum-pressure plasma-cathode electron source // Plasma Sources Science and Technology. – 2018. – Vol. 27., No. 7. – P. 075002.
2. Burdovitsin V.A., Karpov K.I., Bakeev I.Y., Oks E.M. Discharge in a long metal tube with an electron beam generated by a forevacuum plasma–cathode electron source // Physics of Plasmas. – 2022. – Vol. 29., No. 9. – P. 093503.
3. Borisyuk Y.V., Mozgrin D.V., Oreshnikova N.M., Berdnikova M.M., Pisarev A.A. Nitriding of internal cylindrical surfaces in abnormal glow discharge // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2018. – Vol. 12., No. 3. – P. 603-606.

УДК 621.396.41

МОДЕЛЬ ГРУППОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БПЛА В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ NS-3

Д.А. Баранов, Д.С. Брагин

Научный руководитель: доцент, к. т. н., А.А. Конев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск пр. Ленина, 40, 634050

Email: bda@csp.tusur.ru

UAV GROUP DISTRIBUTION MODEL IN THE NS-3 SIMULATION ENVIRONMENT

D.A. Baranov, D.S. Bragin

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., PhD. A.A. Konev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk Lenin str., 40, 634050

Email: bda@csp.tusur.ru

Abstract. *The development of a UAV group distribution model in the NS-3 simulation environment, which will be focused on security in the future, is presented.*

Введение. В настоящее время наблюдается постоянный рост количества сфер деятельности, в которых применяются беспилотные программно-аппаратные комплексы. Это связано с развитием технологий управления полетом, полезной нагрузки и передачи данных между беспилотным аппаратом и оператором. В качестве примера в данной статье будут рассмотрены беспилотные летательные аппараты (БПЛА).

Во время полета БПЛА обрабатывает и передает различные данные, одновременно взаимодействуя с другими участниками системы. Потенциальные злоумышленники могут глушить сигналы управления и навигации, подменять передаваемую информацию, перехватывать управление БПЛА [1]. При этом бортовые полетные контроллеры не обладают высокими вычислительными мощностями, что снижает возможность использования комплексных средств защиты [2]. Существующие решения направлены на защиту отдельных БПЛА, но при создании групп БПЛА, требования к защите информации возрастают, а механизмы защиты усложняются [3, 4]. Поэтому вопрос оценки защищенности и подбор оптимальных решений средств защиты для систем связи групп БПЛА является открытым для исследования. Одним из способов решения данного вопроса является моделирование. Распространенным симулятором является NS-3, позволяющий производить детальную имитацию моделируемой сети на низких уровнях протоколов информационного обмена. Однако, имеющиеся в симуляторе реализации не позволяют проводить исследования с группой движущихся объектов.

Экспериментальная часть. Одной из задач при оценке защищенности и моделировании сетей является распределение взаимодействующих движущихся объектов в пространстве. Существующие в симуляторах готовые модели движения узлов сфокусированы на отдельных объектах и не учитывают факторы взаимодействия в группе. Таким образом, была разработана модель группового управления узлами сети, основу расположения которых составляет метод потенциального поля (Рис. 1). Данный класс присваивается к каждому узлу (NodeMobilityModel), которому необходим данный функционал, а основа модели расширяет имеющиеся методы других классов поведения.

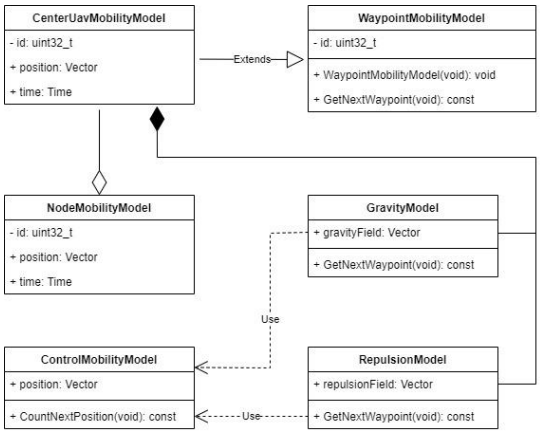


Рис. 1. Структурная схема модели поведения узлов

Основу метода потенциального поля реализуют классы отталкивания (RepulsionModel) и притяжения (GravityModel), которые корректируются с учетом всех имеющихся моделей поведения узлов в системе (класс ControlMobilityModel). Основу расчета силы отталкивания V_R метода потенциального поля определяет:

$$V_R = \begin{cases} 0, \ r > R_{bo} \\ \frac{R_{bo}-r}{R_{bo}-R_s}, \ R_s < r \leq R_{bo}, \\ \infty, \ r \leq R_s \end{cases}$$

где r – расстояние от центра конкретного узла до центра препятствующего объекта, Rbo – радиус сферы, в которой формируется отталкивание, Rs – радиус сферы, в пределах которой сила отталкивания стремится к бесконечности.

Основу расчета силы притяжения V_G определяет:

$$V_G = \begin{cases} 1, \ r > R_c \\ \frac{r-R_{bp}}{R_c-R_{bp}}, \ R_{bp} < r \leq R_c, \\ 0, \ r \leq R_{bp} \end{cases}$$

где R_c – радиус сферы, в которой предусматривается максимальное притяжение, R_{bp} – радиус сферы, в которой отсутствует притяжение.

Результаты. После тестирования разработанной модели управления группой БПЛА на предмет корректного распределения и взаимодействия между собой узлов в пространстве, данный модуль был внедрен в симулятор. В ходе эксперимента, к группе узлов, состоящей из четырех элементов, был добавлен дополнительный узел (Рис. 2). Обмен данными между абонентами осуществлялся на основе протокола LTE. Результаты трассировки данных, участвующих в распределении абонентов, представлены в таблице 1. Параметр SNR является отношением сигнал / шум, характеризующий качество информационного обмена, и зависит от дистанции между объектами передачи данных.

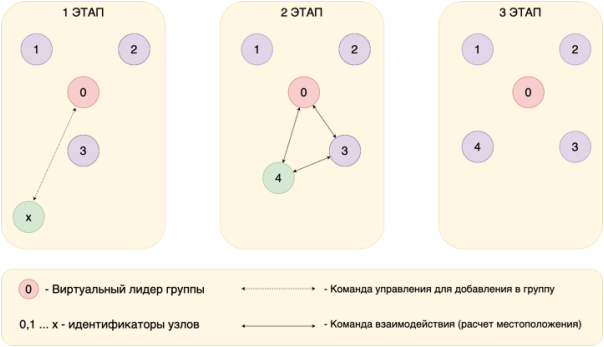


Рис. 2. Основные этапы эксперимента добавления узла в группу

Таблица 1

Результаты трассировки

Номер этапа	Номер узла	Дистанция до центрального узла, м	SNR, дБ
1	x (4)	100	45.68
	3	70	48.015
2	4	83	46.193
	3	72	47.761
3	4	70	48.015
	3	70	48.015

Заключение. На основе результатов, представленных в таблице 1, можно сделать вывод, что распределение узлов группы в пространстве происходит корректно, что подтверждается результатами трассировки. Преимуществом разработанной модели является гибкость использования с любыми объектами имеющихся в симуляторе протоколов. Также она расширяет функционал среды моделирования, позволяя тем самым исследовать вопросы оценки защищенности для групп любых движущихся взаимодействующих объектов (на примере БПЛА).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Novokhrestov A., Konev A., Shelupanov A.A., Buymov A. Computer network threat modelling // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. – 2020. – V. 1488. – P. 012002.
2. Bragin D.S., Urazayev D.R., Konev A.A., Cherepanova I.V. Onboard device for UAS remote identification // The XVIII International Conference on Prospects of Fundamental Sciences Development. – 2021. – V. 1989 – P. 012044.
3. Gimenez J. Multi-objective control for cooperative payload transport with rotorcraft UAVs // ISA Trans. – 2018. – №80. – P. 491–502.
4. Верба В.С., Меркулов В.И., Миляков Д.А. Проблемы управления большими плотными группами беспилотных летательных аппаратов // Информационно- измерительные и управляющие системы. – 2018. – №6. – С. 3–13.

УДК 537.533.9

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА Al2O3 ПОДЛОЖЕК В ФОРВАКУУМНОЙ ОБЛАСТИ ДАВЛЕНИЙ

В.А. Бескреснов, А.В. Долгова
Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.С. Климов
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: exibp@mail.ru

ELECTRON-BEAM TREATMENT OF Al2O3 SUBSTRATES IN THE FORVACUUM PRESSURE RANGE

V.A. Beskresnov, A.V. Dolgova
Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.S. Klimov
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: exibp@mail.ru

Abstract. *In the present study, we performed the influence of electron-beam treatment on the structure of the surface layer of alumina ceramics. It is shown that treatment of alumina ceramics VK-100 surface by low-energy electron flux in helium medium with increasing mode leads to an increase in surface roughness.*

Введение. В последние годы актуальность исследования электронно-лучевых методов обработки алюмооксидной керамики возрастает в связи с растущим интересом к использованию этого материала в электронике, медицине и других отраслях. Однако, для достижения наилучших характеристик материала, необходимы дальнейшие исследования обработки данного материала.

Качество поверхности керамических подложек является одним из наиболее важных факторов в производстве. Так, увеличение шероховатости поверхности приводит к увеличению потерь проводимости. Поэтому становится актуальной проблема улучшения качества поверхности подложек путем применения различных электрофизических методов, например, электронно-лучевой обработки [1]. Электронно-лучевая обработка керамических материалов в форвакуумной области давлений представляет всё больший интерес, что связано с тем, что традиционные методы обработки не обеспечивают желаемых характеристик материала [2]. Так, метод абразивной обработки с применением ультразвука позволяет достигать высокой точности обработки и поверхностной шероховатости, однако, возникают определенные трудности с подбором оптимальных параметров, таких как амплитуда и частоты ультразвуковой волны, которые могут существенно влиять на качество обработки [3]. Лазерная обработка керамики позволяет получать высокую точность и поверхностную гладкость изделий, но данный метод является довольно дорогостоящим.

Цель настоящего исследования определить влияние режимов электронно-лучевой обработки на структуру поверхностного слоя алюмооксидной керамики.

Экспериментальная часть. В качестве материала подложки использовались пластинки алюмооксидной керамики марки ВК-100 с размерами 12×15 мм и толщиной 1 мм. Схема

экспериментальной установки представлена на рис. 1. Электронный источник 1, представляющий собой трехэлектродную систему, устанавливался на верхнем фланце вакуумной камеры 2. Подложки обрабатывались при давлении рабочего газа 10 Па, в качестве рабочего газа использовался гелий, образцы нагревались до температуры от 1300 до 1700 °С, время выдержки составляло 10 с. Следующим этапом было нанесение тонких пленок из алюминия на образцы с помощью метода термического испарения в вакууме. Схема установки представлена на рис. 2.

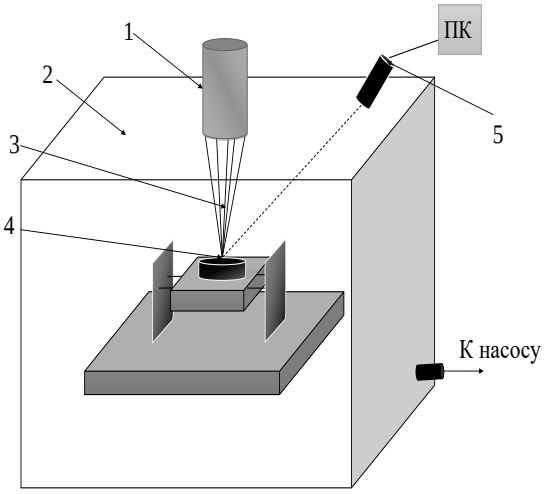


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – плазменный источник электронов; 2 – вакуумная камера; 3 – облучаемый образец; 4 – электронный пучок; 5 – пирометр

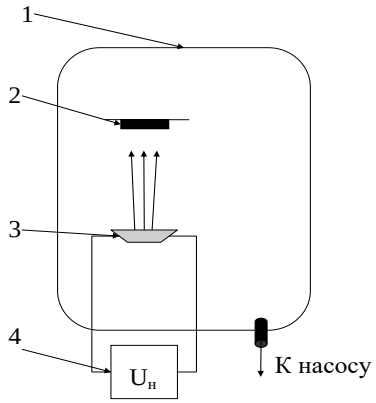


Рис. 2. Схема экспериментальной установки метода термического испарения в вакууме: 1 – вакуумная камера; 2 – подложка; 3 – испаряемый материал; 4 – источник напряжения

Исследование шероховатости поверхности проводилось на трёхмерном бесконтактном профилометре *Micro Measure 3D Station* производства *STIL* (Франция).

Результаты. На следующих рисунках для примера представлены снимки с электронного микроскопа при приближении в 400 раз исходного образца, образа обработанного при температуре 1300 °С и 1500 °С, соответственно.

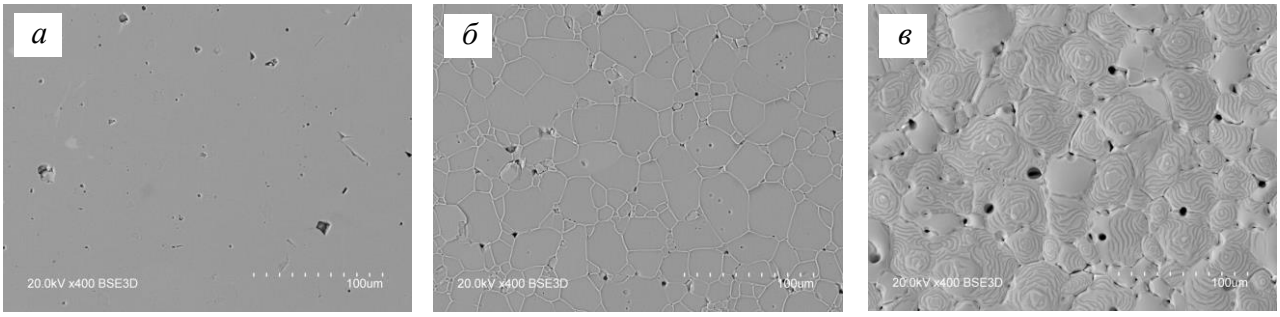


Рис. 3. Поверхность керамики ВК-100: а – исходный образец; б – после обработки при температуре 1300 °С; в – после обработки при температуре 1500 °С

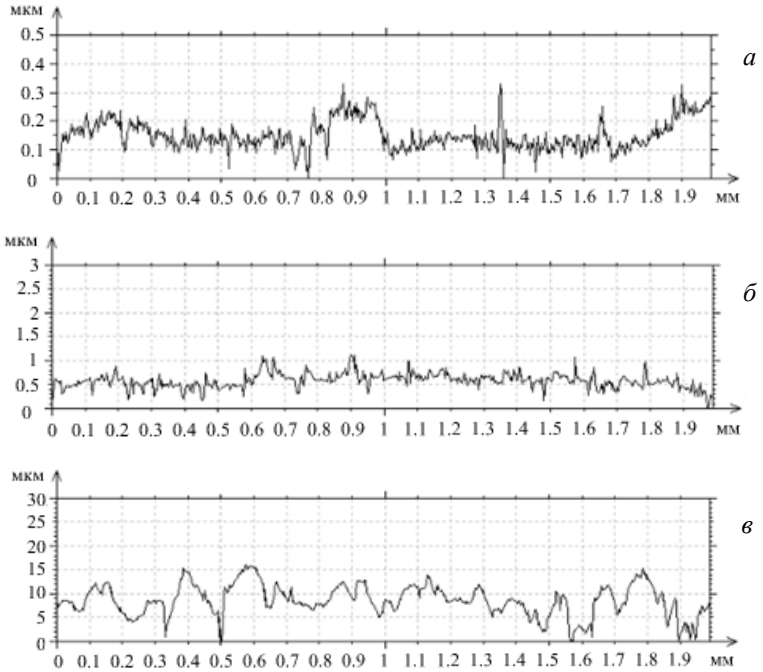


Рис. 4. Шероховатость керамики ВК-100: а – исходный образец; б – после обработки при температуре 1300 °С; в – после обработки при температуре 1500 °С

Таким образом, параметр шероховатости поверхности для исходного образца R_{a0} = 0,0258 мкм, для образца облученного при температуре 1300 °С R_{a1300} = 0,150 мкм, для образца обработанного при температуре 1500 °С R_{a1500} = 2,93 мкм. Можно сделать вывод, что в данной серии облученных подложек, шероховатость поверхности увеличивается, с увеличением температуры обработки.

Заключение. В результате проведенных исследований видно, что при облучении поверхности электронным лучом при темпперaтуре 1300 °С образуются ярко выраженные границы зерен, что свидетельствует об изменении физических свойств структуры поверхности. При температуре 1500 °С и выше на поверхности наблюдается кристаллизация, что свидетельствует о перегреве, плавлении и последующей рекристаллизации приповерхностного слоя.

Работа выполнена при поддержке Министерства высшего образования и науки, FEWM-2023-0012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саврук Е.В. Структура и свойства поликристаллического α-Al2O3, модифицированного мощным лазерным излучением: дис. … канд. техн. наук. – Томск, 2013. – 114 с.
2. Климов А.С. Особенности электронно-лучевого испарения керамики на основе оксида алюминия в форвакуумной области давлений // Доклады ТУСУРа. – 2016. – Т. 19., № 4. – С. 20-22.
3. Uhlmann E., Hubert C. Advances in Ultrasonic Assisted Grinding of Ceramic Materials// Advances in Science and Technology. – 2006. – Vol. 45. – P. 1711-1716.

УДК 621.396.41

ОБЗОР АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ СХОЖЕСТИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ

А.А. Боровской

Научный руководитель: Д.И. Новохрестова

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: borovskoj2000@mail.ru

REVIEW OF ALGORITHMS FOR QUANTIFYING THE SIMILARITY OF SPEECH SIGNALS

A.A. Borovskoy

Scientific Supervisor: D.I. Novokhrestova

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: borovskoj2000@mail.ru

Abstract. *An attempt to compare estimates obtained by expert work in determining the quality of speech of patients undergoing speech rehabilitation after surgical intervention in the articulation apparatus and estimates obtained using metrics for calculating the similarity of temporal sequences, which include the values of amplitudes of sound signals, is considered. Among the selected metrics, based on a comparison of the obtained*

Введение. В настоящий момент увеличивается количество диагностированных онкологических заболеваний органов речеобразующего аппарата. Выросла доля впервые выявленных новообразований III и IV степени тяжести, которые требуют более серьезного хирургического вмешательства [1, 2]. После лечения заболеваний возникает необходимость в прохождении речевой реабилитации. Недостатки метода оценки качества восстановления речи, основанного на ГОСТ Р 58040–95 [3], приводят к необходимости разработки алгоритмов и использования программных средств на их основе для оценки качества речи пациентов, проходящих реабилитацию после операции. Для подтверждения корректности работы алгоритмов необходимо проверить оценку, получаемую по результатам работы алгоритма с оценкой, выставляемой экспертом, в рамках прохождения речевой реабилитации пациента.

Экспериментальная часть. В работе были рассмотрены следующие метрики для сравнения двух последовательностей: Dynamic Time Warping (DTW) [4, 5], Longest Common Subsequence (LCSS) [6, 7], Edit Distance on Real Sequences (EDR) [8, 9], Edit Distance with Real Penalty (ERP) [8, 9], Move Split Merge [10].

Был использован набор данных, представляющий собой звуковые файлы пациентов, проходящих процесс речевой реабилитации после лечения онкологических заболеваний органов речеобразующего аппарата, проводимого на базе НИИ Онкологии г. Томска. Были отобраны записи 15 пациентов, где у 4 пациентов было проведено по 4 сеанса записи проблемных фонем, у 11 пациентов по 3 сеанса. Первый сеанс у каждого пациента является эталонным, поэтому записи этого сеанса сравниваются с соответствующими записями из остальных сеансов. Таким образом, для подсчета оценок будет использовано 34 сеанса. Для оценки одной фонемы используется 30 звуковых файлов, записанных в каждом сеансе. Для каждой из проблемных фонем (с учётом её мягкого произношения) выбирается 1020 записей. Суть эксперимента состоит в проверке результатов работы метрик и экспертных оценок.

Эксперимент состоит из следующих шагов:

1. Преобразовать эталонную и оцениваемую аудиозаписи в последовательность значений;
2. Найти значение меры сходства эталонной и оцениваемой записи при помощи каждой из метрик;
3. Преобразовать значение метрики в бинарное значение и сравнить с экспертной оценкой и определить число расхождений.

Для метрик EDR, ERP, DTW, MSM функция преобразования меры сходства в бинарный вид выглядит следующим образом:

$$F1(EDR_i) = \begin{cases} 1, \text{if } EDR_i \le EDR_t \\ 0, \text{otherwise} \end{cases}, F2(ERP_i) = \begin{cases} 1, \text{if } ERP_i \le ERP_t \\ 0, \text{otherwise} \end{cases},$$

$$F3(DTW_i) = \begin{cases} 1, \text{if } DTW_i \le DTW_t \\ 0, \text{otherwise} \end{cases}, F4(MSM_i) = \begin{cases} 1, \text{if } MSM_i \le MSM_t \\ 0, \text{otherwise} \end{cases},$$

где EDR_t, ERP_t, DTW_t, MSM_t - пороговые значения.

Для метрики LCSS соответственно:

$$F5(LCSS_i) = \begin{cases} 1, if\ LCSS_i \ge LCSS_t \\ 0, otherwise \end{cases},$$

где $LCSS_t$ - пороговые значения.

Пороговые значения подбирались для набора записей у каждого пациента отдельно. Подбор осуществлялся с использованием методов оптимизации. Оптимизировалась функция следующего вида:

$$F(Z_i) = \sum_{i=1}^{n} (X_i - F1(EDR_i))^2 \xrightarrow{\min} 0$$

где n – количество записей у выбранного пациента.

Аналогично для функций F2, F3, F4, F5. Значение функции минимизировалось.

Результаты. По итогу проведения эксперимента был рассчитан процент расхождений оценок, полученных при помощи использования алгоритмов, с экспертными оценками к общему числу аудиозаписей (табл. 1)

Таблица 1

Процент расхождений с экспертными оценками

Фонема	Процент расхождений с экспертными оценками				
	edr	erp	Dtw	Lcss	msm
[к]	25.4	30.9	18.5	33.9	24.2
[с]	19.6	19.5	17.8	20.1	19.5
[т]	18.2	18	17.1	18.3	17.4

Заключение. При сравнении эталонной и искаженной речи пациентов алгоритм DTW в большинстве случаев демонстрирует результаты, которые наиболее похожи на экспертные оценки качества речи. Алгоритм MSM также может быть использован при разработке алгоритма для оценки качества речи, так как в некоторых подходах к расчетам его результаты были лучше, чем у DTW. Также

для фонем [с] и [т] в качестве дополнительных метрик для составления комбинированной меры могут быть использованы метрики EDR и ERP.

В качестве дальнейших исследований предполагается построение комбинированной меры для оценки качества речи с использованием рассмотренных метрик

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Злокачественные новообразования в России в 2020 году (заболеваемость и смертность) // Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, – 2021. – илл. – 252 с.
2. Состояние онкологической помощи населению России в 2020 году // Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, – 2021. – илл. – 239 с.
3. ГОСТ Р 50840–95. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости
4. Novokhrestova D.I. Time normalization of syllables with the dynamic time warping algorithm in assessing of syllables pronunciation quality when speaking // Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. – 2017. – V. 20., № 4. – P. 142-145.
5. Романенко А.А. Выравнивание временных рядов: прогнозирование с использованием DTW // Машинное обучение и анализ данных. – 2001. – № 1 – С. 77-85.
6. Suneja K., Bansal M. Comparison of time series similarity measures for plagiarism detection in music // Annual IEEE India Conference. – 2015. – P. 1-6. DOI:10.1109/INDICON.2015.7443304
7. Wang X., Mueen A., Ding H. [et al.] Experimental comparison of representation meth-ods and distance measures for time series data // Data Mining and Knowledge Discovery. – 2013. – Vol. 26., № 2. – P. 275-309.
8. Gunopulos D. Time Series Similarity Measures // Encyclopedia of Biostatistics. – 2005. – P. b2a12074. doi/10.1002/0470011815.b2a12074.
9. Chen L. On The Marriage of Lp-norms and Edit Distance // Proceedings 2004 VLDB Conference. – Elsevier, 2004. – P. 792-803.
10. Stefan A. The Move-Split-Merge Metric for Time Series // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2013. – V. 25., № 6. – P. 1425-1438.

УДК 621.315.592.3

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ И ПРИМЕСЕЙ НА СПЕКТРЫ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ И ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛМАЗА

З.И. Бородулин

Научный руководитель: профессор, к.ф.м.н. М.А. Шулепов

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: zahar.borodulin12@gmail.com

EFFECT OF DEFECTS AND IMPURITIES ON THE ELECTROLUMINESCENCE SPECTRA AND CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF DIAMOND

Z.I. Borodulin

Scientific Supervisor: Prof., Ph.D. M.A. Shulepov

National Research Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: zahar.borodulin12@gmail.com

Abstract. *In this work, we study the effect of impurities and defects in the crystal lattice of diamond on the electroluminescence and CVC characteristics of samples.*

Введение. Электролюминесценция - нетепловое свечение, возбуждаемое электрическим полем. Алмаз- аллотропная модификация углерода. Он является широкозонным полупроводником с шириной запрещённой зоны 5,49 эВ. Достоинствами алмазных излучателей света является компактность, возможность интеграции с алмазными квантовыми сенсорами и при этом относительно высокая яркость. Алмаз обладает относительно остальных полупроводников широкой запрещенной зоной, высокой радиационной стойкостью, высокой химической стойкостью, самой высокой теплопроводностью и высокой подвижностью носителей заряда. У алмаза предельно высокое поле электрического пробоя [1]. Электролюминесценция в алмазе может использоваться для создания светодиода и лазера. Такие устройства могут использоваться в бортовой радиоэлектронной аппаратуре космических аппаратов, в квантовых сенсорах, в квантовом компьютере и в системах квантового шифрования.

Экспериментальная часть. Чтобы отобрать алмазы использовался метод сканирования зондом. Образец алмаза прикрепляли к медной пластине, которую помещали на координатный столик микроскопа *Micromed P1-(LED)*. Для получения электролюминесценции была собрана электрическая схема из источника постоянного напряжения *YIHUA-305D-2II*, сканирующей иглы, подключенной к отрицательному полюсу источника питания, образца, медной пластины, подключенной к положительному полюсу источника. Свечение электролюминесценции регистрировалось с помощью видеокамеры, установленной на микроскоп, а спектры регистрировались с помощью аппаратно-программного спектрометрического комплекса *Ocean Optics HR 2000* (7) со спектральным диапазоном 190-1100 нм. Измеренные спектры обрабатывались на персональном компьютере в программе OriginPro2021 – производился учёт спектральной чувствительности прибора и пропускания оптического тракта. Свечение наблюдалось при комнатной температуре. Интенсивность свечения образцов менялась, при сканировании

поверхности кристалла иглой. В некоторых точках алмаза электролюминесценция отсутствовала. Методом сканирования зондом были отобраны 4 образца ВДВТ (высокое давление высокая температура) алмазов. Для удобства им были присвоены номера С12, С13, С34, С36. Сканирование показало области с высокой концентрацией дефектов и примесей (далее точки электролюминесценции) при воздействии на которые был максимум интенсивности излучения. Ниже приведено фото образца С13 на Рис.

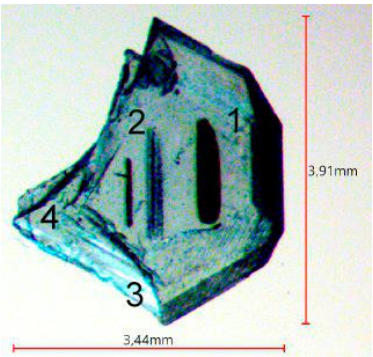


Рис. 1. Фотография образца алмаза. Цифры указывают области с максимальным свечением электролюминесценции

Для регистрации вольтамперной характеристики (ВАХ) образец помещался в неоптический гелиевый криостат замкнутого цикла Janis. Образец закреплялся на медной пластине. К образцу в точки электролюминесценции подводился зонд. Зонд и пластина подключены к источнику постоянного питания. Измерения происходили при атмосфере и при вакууме. Образцы нагревались и охлаждались. ВАХ регистрировались при напряжении от -30В до 40 В.

Результаты. Созданы карты точек электролюминесценции при сканировании 4 образцов. Найдены напряжения, при которых образцы излучают регистрируемое для спектрометра излучение. 200 В, 14 В, 50 В и 20 В для образцов С12, С13, С34 и С36, соответственно. Ниже на Рис.2 приведены спектры электролюминесценции при комнатной температуре при постоянном напряжении 300 В.

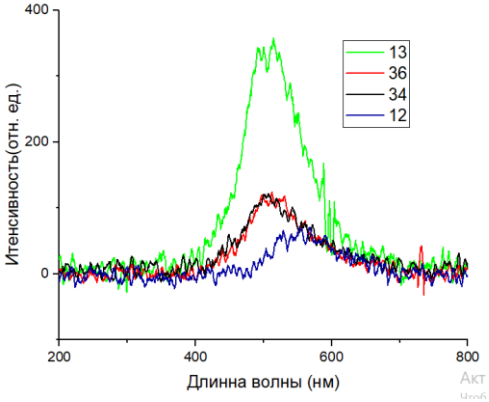


Рис. 2. Спектры электролюминесценции образцов 12, 13, 34, 36

Общая линия полоса у С13, С34 и С36 на 490 нм. Общая полоса у С13 и С12 на 550 нм. Предположительно, дефектами и примесями, влияющими на электролюминесценцию, являются центры Н4, Н3, а также примесь никеля.[2].

ВАХ представлены ниже на Рис.3

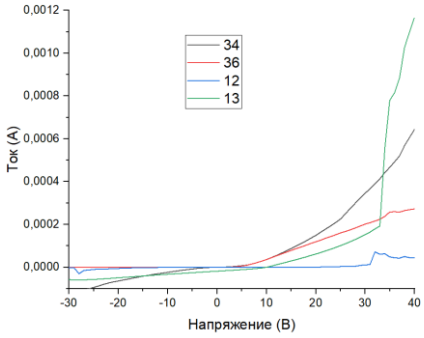


Рис. 3. ВАХ в точках электролюминесценции образцов 12, 13, 34, 36

ВАХ вне точек электролюминесценции идентичен ВАХ диодов. ВАХ данных образцов в точках электролюминесценции имеет несимметричный характер зависимости с явным преобладанием величины прямого тока над обратным. При изменении направления развертки изменяются обе ветви (прямая и обратная) ВАХ. Также обнаружен факт существенного увеличения прямого и обратного токов при вакуумировании образца. При этом максимальное увеличение прямого тока происходит примерно на 30 %, а обратного на 60 %. При нагревании образцов увеличивалась проводимость, а при охлаждении уменьшалась. Энергия активации по токовым измерениям для С34 и С36 370 мэВ, а С13 480 мэВ.

Исследование образца С13 показало, что оптическое излучение данного образца обнаруживается начиная со значения напряжения смещения около 14 В как при визуальном наблюдении, так и при детектировании его фотодиодом. Несмотря на отсутствие стабильности излучения образца, средние значения потока излучения образуют практически линейный участок на зависимости потока излучения от протекающего тока в диапазоне напряжений от 14 до 27 В. ВАХ данного образца имеет несимметричный характер зависимости с явным преобладанием величины прямого тока над обратным. В диапазоне напряжений примерно от -6 до 10 В, флуктуации протекающего тока данной структуры при фиксированном напряжении смещения достаточно малы и существенно увеличиваются за пределами этого диапазона с ростом модуля приложенного напряжения. При прямой развертке на прямой ветви ВАХ имеется резкий скачек тока при напряжении около 20 В, который немного изменяет свое положение от измерения к измерению. Данная закономерность меняет свой характер в зависимости от того, производятся измерения при атмосферном давлении или при вакуумировании.

Заключение. В результате проведенных исследований выявлены зависимости спектров электролюминесценции и ВАХ от примесей и дефектов. Предположительно у определённых дефектов алмаза индивидуальная энергия активации. Это может объяснить отсутствие стабильности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хмельницкий Р.А., Талипов Н.Х., Чучева Г.В. Синтетический алмаз для электроники и оптики. – М.: Издательство ИКАР, 2017. – 228 с.
2. Zaitsev A.M., Optical Properties of Diamond: A Data Handbook. – Berlin, Heidelberg: Springer -Verlag, 2001. – 502 p.

УДК 004.85

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ПРОВЕРКИ БЛАГОНАДЁЖНОСТИ ЮРИДИЧЕСКИХ ЛИЦ

Е.И. Васильев, Г.Р. Егле, А.В. Осипенко
Научный руководитель: ст. преп., А.С. Колтайс
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: egg.or.no@gmail.com, germanegle@mail.ru

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED MODEL FOR VERIFICATION OF THE RELIABILITY OF LEGAL ENTITIES

E.I. Vasiliev, G.R. Egle, A.V. Osipenko
Scientific Supervisor: Art. Prep., A.S. Koltais
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: egg.or.no@gmail.com, germanegle@mail.ru

Abstract. *The present article develops a system for determining the reliability of legal entities to automate their verification based on regulatory legal acts. Several machine learning methods are considered as a checking mechanism.*

Введение. Необходимость проверить партнёров перед заключением договорных отношений приходит всё к большему числу компаний. Позднее из этого могут являться негативные последствия в деятельности компании, например, неплатежи со стороны контрагентов. Это основной показатель неблагонадёжности, острота которого выросла с 17,2% респондентов второго квартала прошлого года до 23,8 % третьего квартала по результатам анкетирования Российского союза промышленников и предпринимателей [1].

Вследствие этого появляется необходимость создания системы по определению благонадёжности контрагентов, но количество факторов, оказывающих влияние на оценку, меняется в зависимости от отрасли компании, что усложняет ручную проверку. Автоматизация данного процесса позволит сократить использование человеческих ресурсов, а с учётом большого объёма входных данных, методы машинного обучения будут наиболее подходящим решением.

Экспериментальная часть. В первую очередь были рассмотрены существующие модели для оценки благонадёжности компаний, а именно «Оценка вероятности финансового банкротства организаций» К.С. Тротт, А.Ф. Шамсутдинова и «Три этапа проведения финансового анализа предприятия» В.Ю. Жданова и «Модель оценки вероятности банкротства» А.С. Колтайса, Н.А. Козловой [2–4]. Из данных документаций были выделены признаки неблагонадёжного контрагента на основе нормативно-правовых актов. Так в исследуемой системе были выделены стоп-факторы, наличие которых следует учитывать согласно Постановлению Пленума ВАС РФ от 12.10.2006 N 53 «Об оценке арбитражными судами обоснованности получения налогоплательщиком налоговой выгоды», Письма ФНС и Приказа ФНС «Об утверждении концепции системы планирования выездных налоговых проверок». К стоп-факторам относятся: отсутствие информации о государственной регистрации

контрагента; наличие информации о прекращении/приостановлении деятельности; исключении недействующего лица из ЕГРЮЛ; нахождение на стадии ликвидации; нахождение на стадии банкротства; отозванная лицензия; массовость адреса; отсутствие по юридическому адресу по данным ФНС [4].

Несмотря на упомянутые сведения из ЕГРЮЛ и на их свободный доступ, этих признаков недостаточно для комплексной и полной проверки благонадёжности ЮЛ. Существует ряд критериев, которые невозможно автоматизировать. Например, к таким сведениям относится «аффилированность лиц», так как она требует анализа взаимосвязей участников крупных проектов с проверкой документов и договоров. Аналогичным критерием является «наличие сайта и его анализ», так как в государственных информационных ресурсах подобная информация не предоставляется.

Таким образом, среди всех рассмотренных признаков были выбраны тринадцать для автоматизации процесса:

- финансово-хозяйственные показатели (отражение в бухгалтерской отчётности убытка на протяжении 2-х и более календарных лет; нарушение налогового законодательства в прошлом; наличие у контрагента задолженностей по уплате налогов и/или не предоставление налоговой отчетности более года);
- показатели учредительной информации (среднесписочная численность; в исполнительный орган входят дисквалифицированные лица);
- показатели репутации (возраст компании; количество арбитражных дел в качестве ответчика; количество текущих исполнительных производств; количество погашенных исполнительных производств);
- финансовые показатели (анализ рентабельности; анализ показателей финансовой устойчивости; анализ и оценка ликвидности; анализ показателей деловой активности).

В данной работе не рассматривались отраслевые критерии, так как их раскрытие для каждой существующей отрасли является комплексной задачей, которую следует рассматривать отдельно от общей модели определения благонадёжности ЮЛ.

В качестве набора данных для апробации был отобран список из 360 компаний по Томской области. По каждому контрагенту предоставляется информация о девяти стоп-факторах и четырнадцати критериях для модели, которая будет определять методами машинного обучения, благонадёжен ли данный потенциальный партнёр. Для подобной классификации объектов необходимо иметь «учителя», указывающего на оценку, к которой нужно стремиться. В данном случае в качестве «учителя» использовался сводный индикатор в ИАС СПАРК [5].

В качестве классификаторов для обработки данных применялись метод k-ближайших соседей, метод опорных векторов, наивный Байес и дерево принятия решений. Были выбраны именно представленные алгоритмы, так как они уже показали свою эффективность при определении благонадёжности индивидуальных предпринимателей [6].

По каждому методу были подобраны гиперпараметры, с которыми была достигнута наилучшая доля верных предсказаний, но оценка велась не по одному показателю: учитывались метрики полноты, точности и F1-меры, объединяющей в себе две предыдущие по среднему гармоническому значению.

Результаты. Результаты апробации по каждому методу приведены в таблице 1. Собранные данные указывают, что дерево принятия решений продемонстрировал наихудшую долю верных ответов, но даже так превзошёл значение 94%. Среди самых точных алгоритмов оказались метод k-ближайших соседей и метод опорных векторов с долей правильных ответов 98,33 % и F1-мерой в 99,01 %.

Таблица 1

Результаты апробации модели методами машинного обучения

Метрика	Метод k-ближайших соседей	Метод опорных векторов	Байесовский алгоритм Бернулли	Дерево принятия решений
Доля верных прогнозов	0,9833	0,9833	0,9722	0,9444
Точность	0,9804	0,9868	0,9677	1,0000
Полнота	1,0000	0,9937	1,0000	0,9333
F1-мера	0,9901	0,9901	0,9836	0,9655

Для определения лучшего алгоритма стоит обратить внимание на показатель точности, который выше у метода опорных векторов. Данная метрика будет более важной, чем полнота, из-за тематики апробации: уменьшение точности означает увеличение количества неблагонадёжных контрагентов, которых система классифицировала как благонадёжных. В рамках текущей статьи подобный случай определяется как менее результативный, чем увеличение количества благонадёжных компаний, определённых как обратные.

Заключение. В рамках работы была разработана модель, предназначенная для определения благонадёжности ЮЛ, а также она была проверена с помощью алгоритмов машинного обучения. Среди них наилучшую точность показал метод опорных векторов – доля верных ответов и F1-мера составили соответственно 98,33 % и 99,01 %. Для улучшения текущих результатов следует обратить внимание на отраслевые критерии или на другие методы машинного обучения, но уже сейчас разработанная модель будет полезна для оценки потенциальных компаний-партнёров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РСПП оценил состояние российской экономики и деятельность компаний за III квартал 2022 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://clck.ru/344J9H (дата обращения: 28.02.2023).
2. Тротт К. С., Шамсутдинов А.Ф. Оценка вероятности финансового банкротства организаций // Экономический анализ: теория и практика. – 2016. – Т. 10. – С. 119–130.
3. Жданов В.Ю. Финансовый анализ предприятия с помощью коэффициентов и моделей: учеб. пособие – М.: Проспект, 2021 - 176 с.
4. Козлова Н.А., Устинов А.О. Модель оценки благонадёжности контрагентов // Материалы IX региональной научно-практической конференции. – Томск, 2020. – С. 379–382.
5. Информационно-аналитическая система СПАРК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.spark-interfax.ru/ (дата обращения: 10.03.2023).
6. Гриценко А.А., Васильев Е.И., Байгулова А.В. Апробация усовершенствованной модели по оценке благонадёжности индивидуальных предпринимателей // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – Томск, 2022. – Т. 2. – С. 215–217.

УДК 621.391.825

АНАЛИЗ ЧЕТЫРЕХСЛОЙНОЙ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОЙ СТРУКТУРЫ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ РЕЖИМИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОМЕХОВЫХ ИМПУЛЬСОВ

С.В. Власов, Е.С. Жечев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: Lukashinka12@gmail.com

ANALYSIS OF A FOUR-LAYER REFLECTIVE-SYMMETRIC STRUCTURE IN DIFFERENTIAL MODE UNDER THE INFLUENCE OF INTERFERENCE PULSES

S.V. Vlasov, E.S. Zhechev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: Lukashinka12@gmail.com

Abstract. *We presented the results of electrodynamic simulation of the characteristics of a four-layer mirror-symmetric structure in the time domain in differential mode. It is shown that the use of a modal filter can attenuate various interfering signals.*

Введение. Современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА) становится более восприимчивой к электромагнитным помехам из-за уменьшения размеров компонентов и увеличения плотности монтажа [1]. Особую опасность представляют сверхширокополосные помехи (СШП), способные обходить традиционные системы защиты. Существует большое количество устройство для защиты РЭА от импульсных помех, однако они обладают следующими недостатками: малый срок службы, отказ в работе при высоких напряжениях, недостаточное быстродействие и т.д. Одним из эффективных способов защиты от импульсных помех является технология модальной фильтрации и устройства на ее основе – модальные фильтры (МФ). Основная идея модальной фильтрации заключается в использовании модальных искажений. За счёт разности задержек мод его поперечных волн в многопроводной линии передач происходит разложение сигнала на импульсы меньшей амплитуды. Структура МФ, исследуемая в данной работе, является простой в анализе, так как его проводники симметричны относительно друг друга. Ранее, в [2, 3] анализировался МФ в частотной и временной областях. Такая структура показала эффективность защиты, как от СШП помех, так и от электростатического разряда [4, 5]. Предполагается, что такая структура эффективно будет подавлять СШП помехи в дифференциальном режиме. Следовательно, цель данной работы – выполнить анализ эффективности подавления СШП помех в дифференциальном режиме.

Экспериментальная часть. Поперечное сечение исследуемой структуры представлено на рис. 1 (*а*), где w – ширина проводников, s – расстояние между проводниками, t – толщина проводников, h – толщина диэлектрика, H – расстояние между внутренними проводниками. Эквивалентная схема включения исследуемой структуры представлена на рис. 1 (*б*). Для согласования структуры в дифференциальном режиме сопротивления резисторов приняты равными 100 Ом. Геометрические параметры структуры составили: s = 700 мкм, w = 325 мкм, t = 35 мкм, h = 920 мкм, H = 510 мкм.

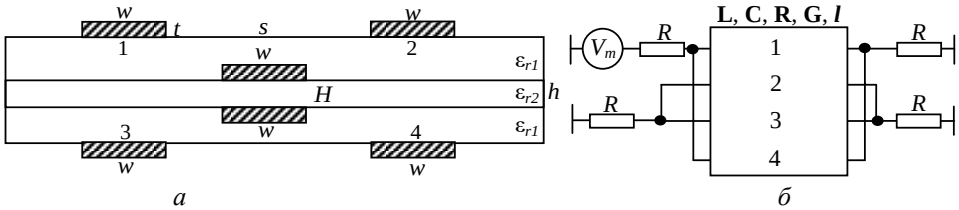


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и эквивалентная схема включения (б) четырехслойной зеркально-симметричной структуры

Для исследования характеристик МФ использовался электродинамический подход. С помощью метода моментов рассчитаны *S*-параметры, которые после использовались для анализа характеристик МФ во временной области. Для упрощения построения и моделирования структуры используется два типа диэлектрика с однородным заполнением. В качестве препрега используется диэлектрик с относительной диэлектрической проницаемость ε_{r1} = 4,4, тангенсом угла диэлектрических потерь $\mathrm{tg}\delta_1$ = 0,015, а в качестве ядра – ε_{r2} = 4,59 и $\mathrm{tg}\delta_2$ = 0,018.

Результаты. После определения МФ в частотной области на его вход подавались три разные СШП помехи. Первое воздействие – гауссов импульс, длительностью 67 пс по уровню 0,5 и амплитудой 1 В (рис. 2 (*а*)). Такое воздействие соответствует определению импульса СШП из стандарта по электромагнитной совместимости (ЭМС) [6]. Второе воздействие – затухающий синусоидальный сигнал (рис. 2 (*б*)) и третьим воздействием была модулированная синусоида (рис. 2 (*в*)).

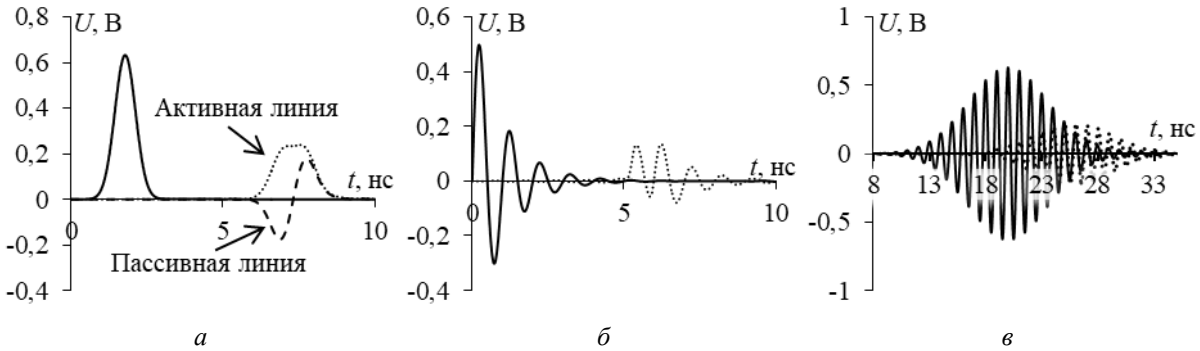


Рис. 2. Временные отклики на гауссов импульс (а), на затухающий синусоидальный сигнал (б) и на модулированную синусоиду (в), входное (–) и выходное (---) воздействия

Из графика временного отклика на гауссов импульс видно, что воздействующий импульс не разложился на два импульса меньшей амплитуды, но ослабился в 2,65 раза, время прихода импульса составило 6,05 нс. Временной отклик на пассивной линии показывает, что возбуждаются две моды, но из-за того, что гауссов импульс имеет длительность больше предельно возможной для данной структуры, разложения на два импульса меньшей амплитуды не произошло. В конце активной линии временной отклик на затухающий синусоидальный сигнал был искажен из-за ослабление сигнала в 3,73 раза задержка сигнала составила 4,9 нс. Из графика временного отклика на модулированную синусоиду видно, что произошло ослабление сигнал в 2,84 раза, задержка сигнала составила 9,5 нс. Для анализа влияния СШП помех на компоненты РЭА могут быть использованы *N*-нормы [7]. Они применяются для оценки возможности электрического пробоя в диэлектрике, выгорания электронного компонента и т. д. Расчет *N*-норм основан на применении математических операторов ко всей форме сигнала. Результаты анализа *N*-норм для трех воздействий представлены в таб. 1.

Таблица 1

N-нормы в начале и в конце активной линии для трех помеховых воздействий

	МФ	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
Гауссов импульс	На входе	0,633	$1{,}62\cdot10^{9}$	$5{,}46\cdot10^{-10}$	$5{,}46\cdot10^{-10}$	$1{,}56\cdot10^{-5}$
	На выходе	0,239	$4{,}27\cdot10^{8}$	$3{,}83\cdot10^{-10}$	$3{,}83\cdot10^{-10}$	$8{,}42\cdot10^{-6}$
Затухающий синусоидальный импульс	На входе	0,498	$3{,}95\cdot10^{9}$	$9{,}87\cdot10^{-11}$	$4\cdot10^{-10}$	$9{,}85\cdot10^{-6}$
	На выходе	0,136	$9{,}43\cdot10^{8}$	$6{,}88\cdot10^{-11}$	$1{,}8\cdot10^{-10}$	$3{,}53\cdot10^{-6}$
Модулированная синусоида	На входе	0,63	$3{,}96\cdot10^{9}$	$2{,}29\cdot10^{-13}$	$8{,}35\cdot10^{-12}$	$2\cdot10^{-7}$
	На выходе	0,223	$1{,}4\cdot10^{8}$	$8{,}13\cdot10^{-14}$	$3{,}6\cdot10^{-13}$	$8{,}56\cdot10^{-8}$

Результаты показывают, что значения всех *N*-норм в конце активной линии по сравнению с началом уменьшаются. Наиболее значительное ослабление наблюдается для N_2. Следовательно, вероятность искрение компонентов на выходе исследуемого МФ уменьшается.

Заключение. В данной работе исследована четырехслойная зеркально-симметричная структура в дифференциальном режиме. Выполнено моделирование характеристик МФ с оптимальными параметрами с учетом потерь в проводниках и диэлектрике во временной области. Получены временные отклики на три помеховых воздействия, показавших их ослабление при прохождении вдоль МФ. Так, гауссов импульс ослабился в 2,65 раза, затухающий синусоидальный сигнал – в 3,73 раза, а модулированная синусоида – в 2,84 раза.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2022-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боков Г. Электромагнитные помехи импульсных преобразователей // Электронные компоненты. – 2018. – №. 5. – С. 142–149.
2. Жечев Е. С. и др. Экспериментальные исследования зеркально-симметричного модального фильтра во временной и частотной областях // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – №. 2. – С. 162-179.
3. Власов С.В., Жечев Е.С. Анализ четырехслойного зеркально-симметричного модального фильтра в синфазном и дифференциальном режимах // Научная сессия ТУСУР. – 2022. – С 256-258.
4. Zhechev Y.S., Ivantsov I.A., Zabolotsky A.M. Multicriteria optimization of a four-layer reflection-symmetric modal filter parameters for ESD protection // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – V. 1862., №. 1. – P. 012023.
5. Weber T., Krzikalla R., ter Haseborg J.L. Linear and nonlinear filters suppressing UWB pulses // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2004. – V. 46., №. 3. – P. 423-430.
6. IEC TR 61000-1-5:2004 – Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 1–5: General – High power electromagnetic (HPEM) effects on civil systems: Technical report. – International Electrotechnical Commission. – 2004. – 13 p.
7. Giri D.V. High-power electromagnetic radiators: nonlethal weapons and other applications. – Harvard University Press, 2004. – 212 p.

УДК: 621.396

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПЕРЕСТРОЕНИЕ ПРОВОДНОЙ СЕТКИ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ

А.Н. Гилева, А. Алхадж Хасан

Научный руководитель: доцент, д.т.н., Т.Р. Газизов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail:gileva2001@mail.ru

PRELIMINARY MODELING AND REBUILDING OF A HORN ANTENNA WIRE-GRID

A.N. Gileva, A. Alhaj Hasan

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Dr., T.R. Gazizov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: dv_klyukin@tu.tusur.ru

Abstract. *In this paper, a preliminary modeling and rearrangement of a horn antenna grid is performed, in order to get a wire-grid structure for further investigations in the OCGA modeling approach applications. This was done by calculating the antenna radiation pattern from a big number of grids that differ by the partition combinations used to build the grid. Their results were compared with the measured and calculated ones using automated segmentation approach. The optimal combination that showed a good agreement in comparisons was determined.*

Введение. Моделирование антенны используя метод моментов (ММ) позволяет значительно минимизировать вычислительных затрат при дискретизации их структур, сохраняя при этом достаточно точность результатов расчета их характеристик [1, 2]. Благодаря этим, предложены много подходов на его основе, включая моделирование проводящих структур проводной сеткой (ПС) [3], которое, в свою очередь, легло в основу аппроксимации поверхностных антенн оптимальной токовой сетки (АОТС), представленной в работе [4].

Согласно АОТС, элементы матрицы тока, полученные после первого моделирования подходом (ПС), нормируются относительно максимального модуля тока в проводах сетки. Затем исключаются провода, в которых нормированный модуль тока меньше максимального на определенное значение, называемое допуском удаления элемента сетки (ДУЭС). В результате получается разреженная структура антенны, которую можно использовать при последующих моделировании и изготовлении антенн. Однако АОТС применяется только на структурах, построенных с помощью ПС, с учетом аппроксимации тока в каждом проводе одним сегментом, поскольку можно удалить только куски провода, а не сегменты. Следовательно, необходимо перестраивать каждую секту, полученную применяя ПС и традиционных рекомендаций по его использованию. Тем не менее, перестроение исходной ПС-сетки может привести к изменению точности ее результатов. Поэтому цель данной работы – перестроить сетку рупорной антенной, полученную с использованием ПС, чтобы сделать ее применимой к АОТС.

Экспериментальная часть. Использована рупорная антенна из [3]. Геометрические параметры её моделируемой структуры и изготовленного прототипа представлены в таблице 1. Её структура,

полученной с помощью ПС, представлена на Рис 1. Регулярная (S_r) и нерегулярная (S_e) части рупора разбились на части по трем осям. При моделировании широкие стенки S_r были разделены на части SZ_r вдоль оси Z и SX_r вдоль оси X, узкие стороны – SZ_r и SY_r, а задняя стенка была разделена на SX_r и SY_r, соответственно. Аналогично, S_e разбилась, используя SZ_e, SX_e, SY_e. Антенна возбуждалась отрезком провода с разностью потенциалов 1 В, размещенном на стыке S_r и S_e частей рупора между его широкими стенками. Радиус провода структуры принят равным λ/100, а провод воздействия – λ/50. Структура антенне моделировалась, используя разных комбинаций разбиения сетки (C). Самые близкие комбинации по полученным характеристикам приведены в таблице 2. Каждый провод состоял из одного сегмента. Нормированные модули напряжённости поля вычислялись на частоте 8 ГГц в плоскости H. На основе сравнения результатов, полученных с помощью этих комбинаций разбиения сетки, с результатами моделирования с автоматической сегментацией и измерениями, проведенными в [3], выбрана оптимальная комбинация разбиения сетки рупорной антенны, позволяющая применять АОТС.

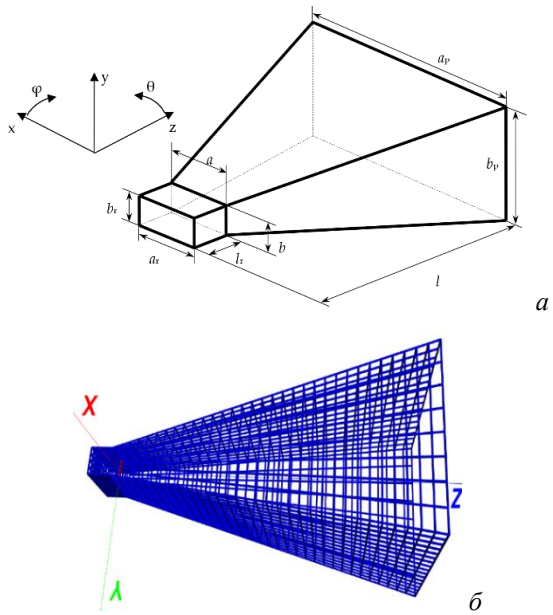


Рис. 1. Изометрический вид (а), и полученной с помощью ПС сетки антенны (б)

Таблица 1

Геометрические параметры структуры рупорной антенны

Параметр	a_p	b_p	a	b	a_r	b_r	l	l_r
Модель	80	60	23	10	23	10	150	10
Прототип	79,9	59,8	23	10	23	10	149,9	10

Таблица 2

Выбранные комбинации разбиении сетки рупорной антенны

S	SO	$C1$	$C2$	$C3$	$C4$	$C5$
S_r	SX_r	4	8	8	8	16
	SY_r	2	16	8	4	8
	SZ_r	4	8	8	8	16
S_e	SX_e	32	32	32	32	32
	SY_e	16	16	16	16	16
	SZ_e	32	32	32	32	32

Результаты. На рис. 2*а* приведены диаграммы направленности (ДН) антенны в плоскости *H*, полученные при разных комбинациях разбиения сетки. Видно, что разбиение сетки $S_г$ оказывает большее влияние на форму ДН, особенно на заднее излучение. На рис. 2*а* сравнены полученные ДН измерением и моделированием с автоматической сеткой (λ/10) с результатами, полученными при оптимально выбранной комбинации разбиения сетки (*С*3). Выбрать малого или большого количества частей сетки не даёт точные результатов, так как, самый близкий вариант разбиения $S_г$ при одинаковом количестве частей $S_е$, был (*С*3), результаты которого соответствуют результатам, полученным при автоматической сегментации и измерении. В результате, в последующих исследованиях можно применить АОТС к полученной сетке при (*С*3) для получения разреженной рупорной антенны.

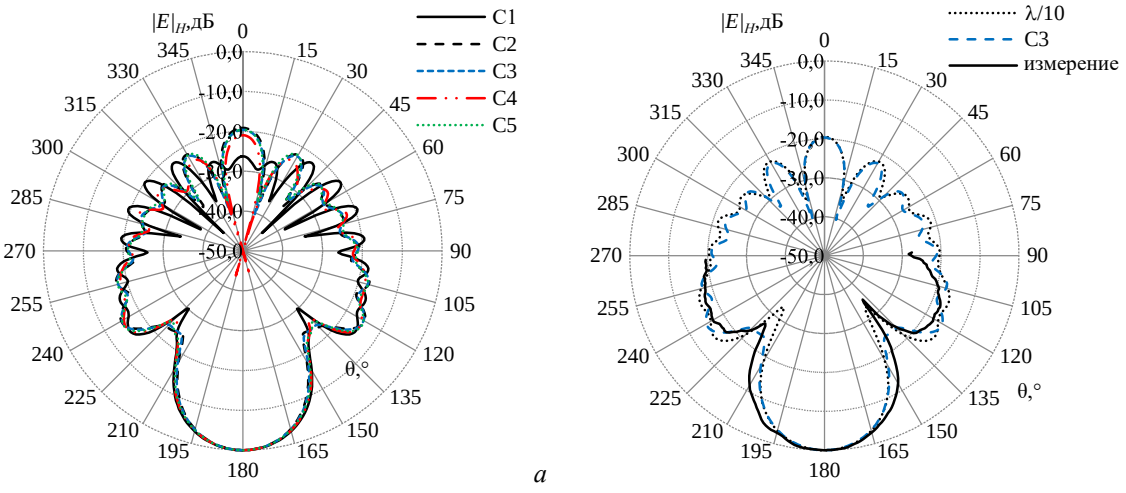


Рис. 2. ДН рупорной антенны при разных комбинациях разбиения сетки (а)

Сравнение полученной ДН при оптимальной комбинации с измеренными и вычисленными при λ/10 (б)

Заключение. Таким образом, исследованы различные варианты перестройки сетки проводной структуры рупорной антенны с целью ее последующего использования при применении АОТС. Найден оптимальный вариант комбинации частей разбиения сетки, при котором её полученная ДН, согласуется с полученными измерением и моделированием используя автоматической сегментации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2023-0014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Makarov S.N. Antenna and EM modeling with MATLAB. – NY: John Wiley & Sons, 2002. – 288 p.
2. Harrington R. F. Matrix methods for field problems // Proceedings of the IEEE. – 1967. – V. 55., №. 2. – P. 136-149.
3. Alhaj Hasan A. et al. On Wire-Grid Representation for Modeling Symmetrical Antenna Elements // Symmetry. – 2022. – V. 14., №. 7. – P. 1354.
4. Alhaj Hasan A., Nguyen T.M., Kuksenko S.P., Gazizov T.R. Wire-grid and sparse MoM antennas: past evolution, present implementation and future possibilities. // Symmetry. – 2023. – Vol. 15(2). – P. 378.

УДК 004.85

ПОИСК НАИЛУЧШИХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОДЛЁННОЙ АУТЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДИНАМИКИ МЫШИ

А.А. Гриценко

Научный руководитель: доцент, к.т.н., Е. Ю. Костюченко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: alexei.gritsenko20.01@gmail.com

SEARCHING FOR THE BEST MACHINE LEARNING METHODS TO BUILD A MODEL FOR EXTENDED USER AUTHENTICATION BASED ON MOUSE DYNAMICS

A.A. Gritsenko

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. E.Y. Kostyuchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: alexei.gritsenko20.01@gmail.com

Abstract. *This article defines the best machine learning methods for building a model for extended user authentication based on mouse dynamics within a single session of each user.*

Введение. Для аутентификации пользователей используются множество разных методов аутентификации. Самыми популярными способами являются применение пароля и биометрическая аутентификация. При этом пароль можно утратить, а для биометрической аутентификации требуется дополнительное оборудование

К биометрической информации можно отнести поведенческую особенность использования мыши компьютера. Использование данной информации позволяет решить проблему затрат на дополнительно оборудование, так как мышь и так нужна для работы с компьютером и необходимо только программное обеспечение для выполнения аутентификации.

Экспериментальная часть. Для исследования был собран набор данных о 10 пользователях на основе разработанной программы. Программа фиксировала следующие данные: дата и время сбора данных, Unix-время, координаты по оси X и по оси У, вид действия мыши, кнопка мыши.

Собранные данные делились на временные окна для обучения с помощью метода скользящего окна. В методе скользящего окна выделяют два подбираемых параметра: размер окна и сдвиг окна. В предыдущих работах была исследована зависимость точности получаемых моделей от этих двух параметров. В работе будут рассматриваться данные полученные с размером окна от 10 секунд и больше, а также сдвиг в 1 секунду. Из полученных окон извлекаются 42 параметра, согласно [1].

Для осуществления классификации необходимо построить модель машинного обучения на основе обучающего набора данных. В работе будут рассмотрены следующие методы машинного обучения: метод наивного байесовского классификатора, метод дерева принятия решений, логистическая

регрессия, метод опорных векторов, метод k-ближайших соседей, случайный лес, полносвязная нейронная сеть и градиентный бустинг.

Результаты. При построении классификаторов использовались данные в рамках одного сеанса пользователя. Они делились на обучающую и тестовую части, где тестовая часть составляет 0.2 от всего объёма выборки с конца.

По каждому методу строились модели с подбором параметров и без. Под отсутствием подбора параметров модели подразумевается использование параметров, которые в большинстве случаев стоят модель высокой точности, а под подбором параметров подразумевается выбор параметров из множества рассматриваемых, по которым строится наилучшая из возможных моделей

Модели строились для разного размера окон. В этом случае можно проследить продолжает ли улучшаться точность при окне большего размера. Модели, построенные на некоторых методах, уже при размере окна в 15 давали точность более 0.99, поэтому эксперимент проводится до размера окна в 15 секунд.

Все используемые методы можно условным образом поделить на 3 группы: дающие совсем плохой результат классификации, дающие средний результат и дающие хороший результат. Под плохим результатом подразумевается точность менее 0.4, под средним результатом подразумевается точность около 0,5 и под хорошим точность более 0.8.

Методы, давшие совсем плохой результат: наивный байесовский метод и логистическая регрессия. На рисунке 1 представлена точность моделей по двум этим методам. Точность всех построенных моделей ниже 0,4

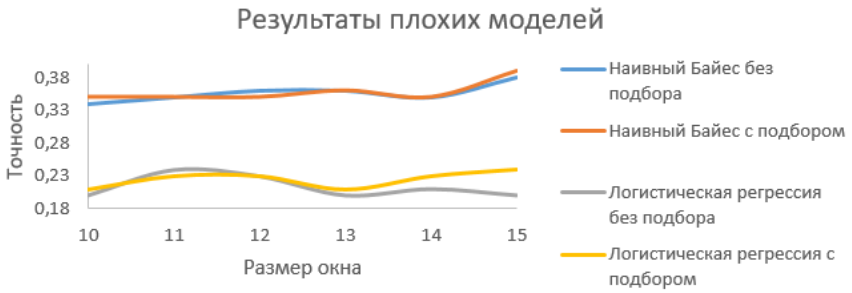


Рис. 1. Точность моделей по методам с плохим результатом

К методам, дающим средний результат относится метод опорных векторов и полносвязная нейронная сеть. На рисунке 2 представлена точность моделей по двум этим методам

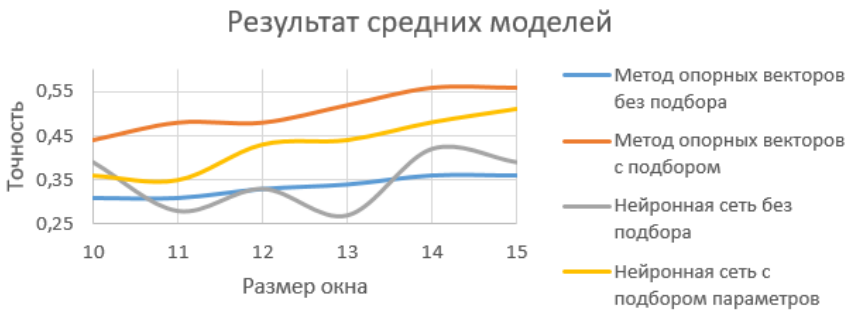


Рис. 2. Точность моделей по методам со средним результатом

Модели по методу логистической регрессии получаются немногим лучше случайного угадывания класса для каждого оценки. Модели по методу наивного Байеса выполняют классификацию лучше, но всё равно точность к окну размером 15 секунд не сильно улучшается в сравнении с другими методами.

В методе опорных векторов после подбора параметров точность доходит до 0,56 при подборе параметров модели на большом размере окна. Прогресс при подборе параметров достигается за счёт перебора вариантов коэффициента нормализации в большом диапазоне.

Полносвязная нейронная сеть с увеличение размера окна начинает давать более высокие результаты, однако всё равно не может построить модель с точностью более 0,5

Наилучшими из полученных моделей были те, которые построены на методах дерева принятия решений, случайного леса, k-ближайших соседей и градиентного бустинга. Точность полученных моделей представлена на рисунке 3.

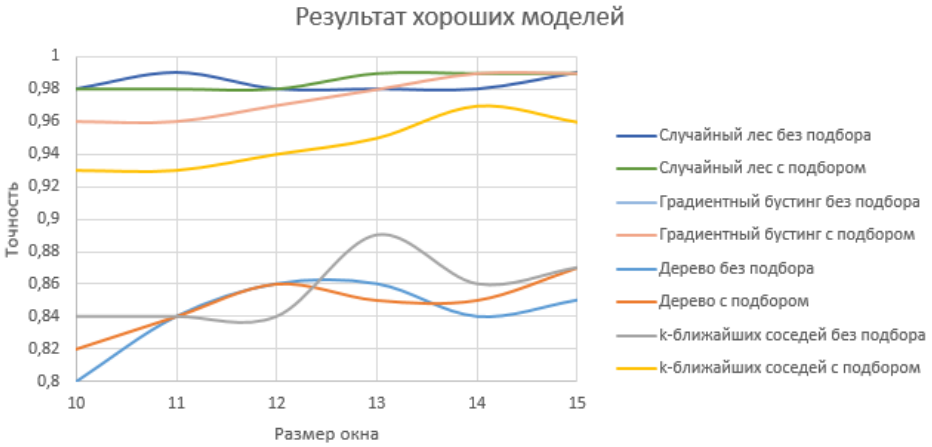


Рис. 3. Точность моделей по методам с хорошим результатом

Из этих методов, менее точные модели получались по методу дерева принятия решений, наиболее точными были модели, построенные по методу случайного леса и градиентного бустинга.

Случайный лес и градиентный бустинг получается путём создания ансамблей деревьев, чем можно объяснить более точные модели именно по этому методу. Метод k-ближайших соседей хоть и позволяет строить модели высокой точности, однако при увеличении количества пользователей и появлении более плотных групп данных точность моделей по данному методу, скорее всего, будет падать.

Заключение. Таким образом, наилучшим из рассматриваемых методов для построения модели продлённой аутентификации пользователей по динамики мыши является случайный лес и градиентный бустинг. Для классификации пользователя в рамках одного сеанса следует использовать один из этих методов при построении модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fierrez-Aguilar J., Nanni L., Lopez-Pe˜nalba J., Ortega-Garcia J., Maltoni D. An On-Line Signature Verification System Based on Fusion of Local and Global Information // Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication: 5th International Conference, AVBPA 2005. – Hilton Rye Town, NY, USA, 2005. – P. 542 -551.

УДК 004.85

НАХОЖДЕНИЕ НАИЛУЧШИХ ПАРАМЕТРОВ СКОЛЬЗЯЩЕГО ОКНА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОДЛЁННОЙ АУТЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДИНАМИКИ МЫШИ

А.А. Гриценко

Научный руководитель: доцент, к.т.н., Е. Ю. Костюченко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: alexei.gritsenko20.01@gmail.com

FINDING THE BEST SLIDING WINDOW PARAMETERS FOR BUILDING A MODEL FOR EXTENDED USER AUTHENTICATION BASED ON MOUSE DYNAMICS

A.A. Gritsenko

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. E.Y. Kostyuchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: alexei.gritsenko20.01@gmail.com

Abstract. *In this article, we have identified the best settings for the sliding window method based on the accuracy of the models and their time to build a user classification model based on the dynamics of the mouse within one session of each user.*

Введение. Каждый пользователь компьютера уникален в том, как он использует операционную систему, программы и устройства ввода, такие как клавиатура или компьютерная мышь. Это можно использовать для аутентификации пользователя по динамике мыши, так как для этого не требуется специализированного оборудования в отличии от других способов биометрической аутентификации, а также может проводится незаметно для пользователя параллельно с его работой за ПК.

Экспериментальная часть. Для исследования был собран набор данных о 10 пользователях на основе разработанной программы. Программа фиксировала следующие данные: дата и время сбора данных, Unix-время, координаты по оси X и по оси У, вид действия мыши, кнопка мыши.

Полученные координаты и временные метки можно использовать для получения значения скорости, ускорения и рывка по каждой координате используя определение физических величин через производные. Из рассчитанных рядов скорости, ускорения и рывка извлекались статистические характеристики ряда, которые в дальнейшем применялись как параметры для подачи в модель классификации. Всего извлекается 42 характеристики. [1]

Ряды делились на части с помощью метода скользящего окна. Суть метода заключается в том, чтобы выделить ряд определённого размера. а после сдвинуть начало ряда на определённый отрезок.

В методе скользящего окна выделяют два параметра, которые необходимо определить для его работы: размер окна, а также сдвиг. В этой статье исследуются наилучшие параметры для метода скользящего окна. При этом размер окна и сдвиг берутся во временном измерении.

В качестве способа выбора окна и сдвига были построены модели для классификации на основе метода дерева принятия решений по данным о пользователях, полученных по при текущих параметрах метода скользящего окна. При построении классификаторов использовались данные в рамках одного сеанса пользователя.

Результаты. На рисунке 1 содержатся значения точности построенной модели при каждом варианте сочетания размера окна в диапазоне от 1 до 15 секунд и сдвига окна от 1 до 20 секунд с шагом в 1 секунду.

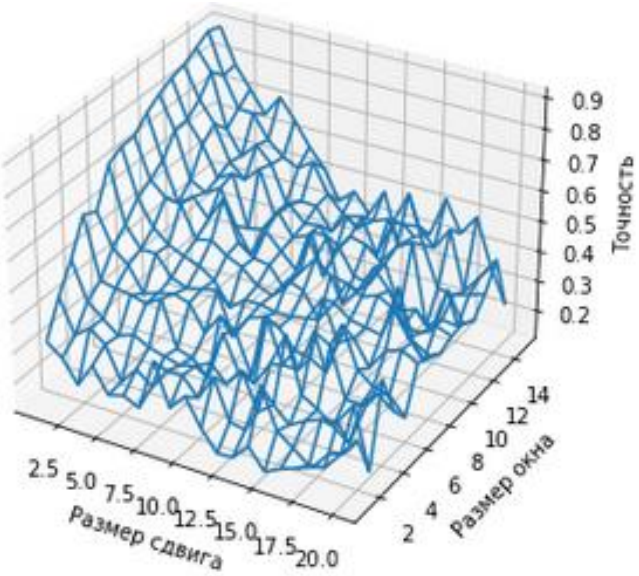


Рис. 1. Точность моделей при разных параметрах скользящего окна

Из значений точности можно сделать вывод, что при увеличении размера окна, увеличивается точность полученной модели. Это вызвано увеличением данных внутри окна и, следовательно, увеличиваются действия пользователя внутри окна.

Также можно заметить, что при уменьшении размера сдвига окна, точность модели увеличивается. Это связанно с тем, что при уменьшении сдвига увеличивается число полученных окон, а значит и размер выборки для обучения модели.

Данный вывод нельзя считать итоговым, так как диапазон параметров был строго определён. Учитывая прямую зависимость точности от размера окна и обратную зависимость точности от сдвига, то при дальнейшем построении моделей стоит проверить более малый размер сдвига: например, 0,5 секунды; и увеличенный размер окна.

Построим логическое продолжение к рисунку 1, уменьшив значения сдвига окна. На рисунке 2 показаны различные варианты сдвигов меньше 1 секунды, в которых получается высокая точность построенной модели. В случае результатов, представленных ниже, продолжает работать закономерность того, что при увеличении числа данных о пользователях, увеличивается точность модели. Уменьшая размер сдвига, ситуация всё больше становится похожа на непрерывную работу алгоритма, что объясняет повышение точности.

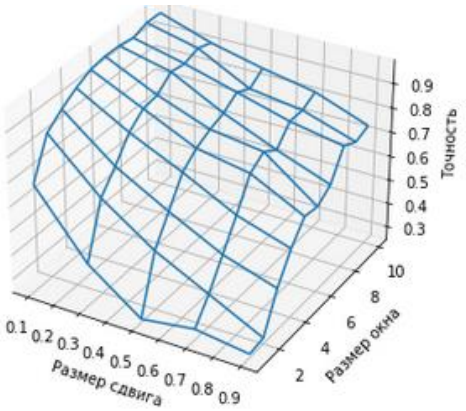


Рис. 2. Точность моделей при параметрах скользящего окна со сдвигом менее 1 секунды

При размере сдвига менее 1 секунды появляется другая проблема: данных становится слишком много, и программа долго обрабатывает их. Необходимо также учитывать время работы программы

На рисунке 3 представлено время работы программы для классификации при размерах окна менее 1 секунды. Размер окна практически не влияет на время работы программы, а размер сдвига имеет значительное влияние

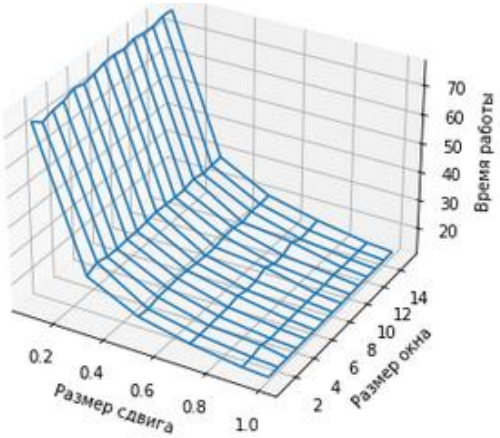


Рис. 3. Зависимость времени работы моделей при разных параметрах скользящего окна

Заключение. В ходе исследования была выявлена прямая зависимость между точность построенных моделей классификации от размера окна в методе скользящего окна и обратная зависимость между точностью модели и размером сдвига окна в задачах классификации пользователей в рамках одного сеанса работы с мышью.

В дальнейших исследованиях стоит выбирать размер сдвига в 1 секунду и увеличивать размер окна для повышения точности получаемых моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fierrez-Aguilar J., Nanni L., Lopez-Pe˜nalba J., Ortega-Garcia J., Maltoni D. An On-Line Signature Verification System Based on Fusion of Local and Global Information // Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication: 5th International Conference, AVBPA 2005. – Hilton Rye Town, NY, USA, 2005. – P. 542 -551.

УДК 535.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АМПЛИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫМИ ДВУХСЛОЙНЫМИ ФПМ-ЖК ДИФРАКЦИОННЫМИ СТРУКТУРАМИ

В.О. Долгирев

Научный руководитель: профессор, к.ф.-м.н., С.Н. Шарангович

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: vitial2@mail.ru

RESEARCH OF THE PROCESS OF TRANSFORMATION OF THE AMPLITUDE CHARACTERISTICS OF LIGHT BEAMS BY ELECTRICALLY CONTROLLED TWO-LAYER PPM-LC DIFFRACTION STRUCTURES

V.O. Dolgirev

Scientific Supervisor: Prof., PhD. S.N. Sharangovich

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: vitial2@mail.ru

Abstract. *In this paper, numerical simulations were used to study the transformation of the amplitude characteristics of light beams by electrically controlled bilayer diffraction structures formed in photopolymerising compositions with a high content of nematic liquid crystals. The study showed that by changing the polarity of the applied electric field to the diffraction layers and by changing the angle and type of polarization of the reading light beam, a transformation of the angular selectivity of the diffracted radiation can take place. A feature of this conversion is a multiple increase in spectral bandwidth.*

Введение. Многослойные неоднородные голографические дифракционные структуры (МНГДС) в настоящее время предоставляют большой интерес исследователей со всего мира. Благодаря своим уникальным селективным свойствам, данные структуры интересны с точки зрения построения на их основе различных оптических устройств, например, как оптических спектральных фильтров [1], так и устройств для генерации фемтосекундных лазерных импульсов [2].

Применение в составе же таких структур фотополимеризующихся композиций с жидкими кристаллами (ФПМ-ЖК) дает возможность динамически управлять дифракционными характеристиками МНГДС с помощью приложенного электрического поля. Как было ранее продемонстрировано в работе [1], при воздействии внешнего электрического воздействия на дифракционные слои с фотополимерным материалом при содержании высокой доли нематических жидких кристаллов, угловая селективность дифрагировавшего излучения могла не только трансформироваться, но и имела существенное смещение.

Однако, в ранее проделанных работах рассматривался случай, при котором полярность подаваемого напряжения была одинаковой, а поляризация падающего светового пучка совпадала с поляризацией собственных необыкновенных волн в образце. Таким образом, целью же данной работы является исследование процесса преобразования амплитудных характеристик световых пучков электрически

управляемыми двухслойными ФПМ-ЖК дифракционными структурами при изменении как полярности подаваемого напряжения на слои, так и углов и типа поляризации считывающего светового излучения.

Экспериментальная часть. Основываясь на представленной ранее модели дифракции света на МНГДС с ФПМ-ЖК [1], в данном разделе представлены основные выражения и методика, использующиеся при численном моделировании. При дифракции света на МНГДС с ФПМ-ЖК связь между входным $\boldsymbol{E}_0$ и дифракционным $\boldsymbol{E}^{m,N}$ полем на выходе всей структуры описывается матричным методом:

$$\boldsymbol{E}^{m,N} = \boldsymbol{T}^{m,N} \cdot \boldsymbol{A}^{m,N-1} \cdot \boldsymbol{T}^{m,N-1} \cdot \ldots \cdot \boldsymbol{A}^{m,1} \cdot \boldsymbol{T}^{m,1} \cdot \boldsymbol{E}_0 ,$$

где $\boldsymbol{E}^{m,N} = \begin{bmatrix} E_0^{m,N}(E,\Delta K) \\ E_1^{m,N}(E,\Delta K) \end{bmatrix}$; $\boldsymbol{T}^{m,n} = \begin{bmatrix} T_{00}^{m,n}(E,\Delta K) & T_{10}^{m,n}(E,\Delta K) \\ T_{01}^{m,n}(E,\Delta K) & T_{11}^{m,n}(E,\Delta K) \end{bmatrix}$ – матричная передаточная функция n-го слоя МНГДС; $T_{jj}^{m,n}$ – элементы матричной передаточной функции [1]; $\boldsymbol{A}^{m,n}$ – матрица перехода [1]; $m = o,e$ – индекс, соответствующий обыкновенным и необыкновенным волнам; n – номер текущего слоя, N – номер последнего слоя; $j = 0,1$.

В общем случае дифракционная эффективность (ДЭ) на выходе всей структуры, при учете считывания плоской световой волной, определяется выражением [1]:

$$\eta_d = \left(\left| E_1^{e,N}(E,\Delta K) \right|^2 + \left| E_1^{o,N}(E,\Delta K) \right|^2 \right),$$

где $E_1^{m,N}$ выражается через элементы $T_{jj}^{m,n}$ матричных передаточных функций $\boldsymbol{T}^{m,n}$ слоев.

Результаты. При численном расчете использовались следующие параметры: толщина дифракционного и промежуточного слоя равны $d_n = 15$ мкм и $t_n = 71,25$ мкм; $\lambda = 633$ нм – длина волны считывания; угол считывания $\theta = 20$ градусов; $N = 2$ – количество дифракционных слоев; полярность на дифракционных слоях «+» и «-» соответственно.

На рис. 1 приведены зависимости ДЭ от фазовой расстройки (ΔK) и приложенного электрического поля (E) относительно порогового напряжения перехода Фредерикса (E_c) при считывании плоской световой волной с линейной поляризацией и углом поляризации $\theta_п = 0^0$ (соответствует собственным необыкновенным волнам) и $\theta_п = 30^0$.

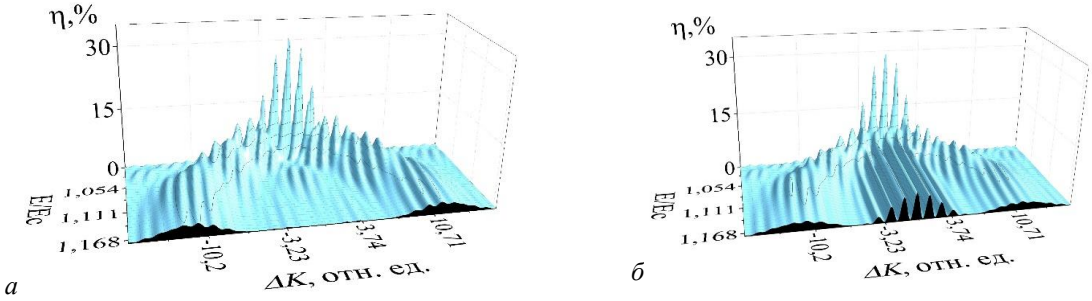


Рис. 1. Зависимость ДЭ двухслойной ГДС при (а) $\theta_п = 0^0$ *и (б)* $\theta_п = 30^0$

Как видно из рис. 1*а* при разной полярности с ростом значения прикладываемого напряжения происходит смещение контура угловой селективности в обе стороны, при чем вид угловой селективности трансформируется до одиночной голографической дифракционной структуры. Однако, при считывании

световой волной с поляризацией, отличающейся от поляризации собственных необыкновенных волн в образце (рис. 1*б*), происходит не только трансформация и смещение угловой селективности в обе стороны, но и сохранение вида угловой селективности как для двухслойной структуры без напряжения. Это свидетельствует о процессе дифракции света на обыкновенных волнах, что приводит к появлению еще одного контура угловой селективности с выраженными локальными максимумами и минимумами.

На рис. 2 приведена зависимость ДЭ от фазовой расстройки и приложенного электрического поля при считывании световой волной с круговой поляризацией.

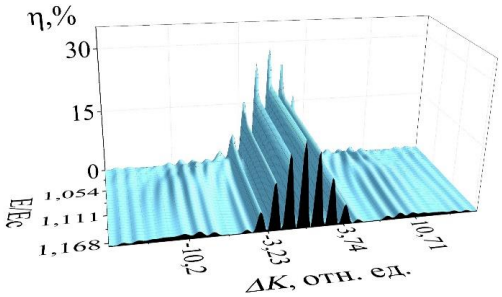


Рис. 2. Зависимость ДЭ от фазовой расстройки и приложенного электрического поля

При считывании световой волной с круговой поляризацией характер смещения угловой селективности в противоположные стороны сохраняется, однако уровень ДЭ для этих областей значительно ниже, чем при считывании с линейно поляризацией (рис. 1). В то же время ДЭ для дифрагированного излучения на обыкновенных волнах наоборот, преобладает.

Заключение. Приведенные результаты численного моделирования демонстрируют возможность динамической трансформации угловой селективности МНГДС с ФПМ-ЖК не только с помощью прикладываемого внешнего электрического воздействия, но также с помощью изменения поляризации считывающей световой волны. В общем случае, при использовании различной полярности к дифракционным слоям, происходит как трансформация, так и смещение угловой селективности в обе стороны. При изменении же поляризации считывающей световой волны появляется вид угловой селективности, соответствующий дифракции света на МНГДС на обыкновенных волнах.

Таким образом, варьируя как значением и полярностью электрического воздействия, так и поляризацией прошедшего светового излучения, возможно не только смещение и трансформация угловой селективности на выходе всей МНГДС, но и кратное увеличение спектральной полосы пропускания. Данная особенность может быть использована для построения электрически управляемых фильтров со спектральным уплотнением каналов для оптических сетей связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dolgirev V.O., Sharangovich S.N. Study of light diffraction on electrically controlled multilayer inhomogeneous structures with smooth optical inhomogeneity based on photopolymerizing compositions with nematic liquid crystals // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2022. – V. 86., suppl. 1. – P. S46–S49.
2. Yan X. et. al. Influence of buffer layer and grating layer on diffraction of multilayer volume holographic grating // Applied Physics B. – 2019. – V. 125., № 67. – P. 1–8.

УДК 537.525

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТИТАНА ПО ОБЪЕМУ ZrO_2 – Ti КОМПОЗИТА

А.В. Долгова, А.А. Зенин
Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.С. Климов
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: weatheraregood@gmail.com

THE EFFECT OF ELECTRON BEAM IRRADIATION ON THE VOLUME DISTRIBUTION OF TITANIUM ZrO_2 – Ti COMPOSITE

A.V. Dolgova, Zenin A.A.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.S. Klimov
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: weatheraregood@gmail.com

Abstract. *In the present study an overview of the possible causes of changes in the titanium content in composite ceramics based on ZrO_2 - Ti during its electron beam irradiation is presented. The mechanisms of reducing the titanium content in the near-surface layer caused by the field migration of titanium ions and capillary effects during sintering are considered.*

Введение. Композитная керамика используется во многих областях промышленности, таких как электроника, медицина, химическая, авиационная и космическая промышленность. В настоящее время существуют различные технологии создания композитной керамики: методы порошковой металлургии, осаждение из паровой фазы, спекание в искровом разряде [1]. Одним из развивающихся методов получения композитной керамики является электронно-лучевое спекание в форвакуумной области давлений [2]. Узкосфокусированный электронный пучок с энергией электронов 10-20 кэВ позволяет прогревать поверхность керамики до температур спекания за короткое время – не более 30 минут.

Наибольшее распространение получили керамические материалы на основе оксида алюминия и диоксида циркония. Керамика на основе диоксида циркония обладает такими свойствами как термостойкость, износостойкость, коррозионная стойкость и хорошая биосовместимость [3]. Однако, диоксид циркония имеет низкую прочность и ударостойкость в связи с чем возникает сложность в изготовлении компонентов сложной формы. Добавление титана в состав керамического образца позволяет преодолеть этот недостаток. Однако, как было обнаружено ранее [4], при электронно-лучевом спекании керамических порошков с металлическими включениями распределение металлического компонента в объеме спекаемого композита изменяется. Так при облучении алюмооксидной керамики с содержанием 20% (масс.) титана на поверхности спеченного образца формируется тонкий слой титана.

Цель настоящего исследования – определение возможных механизмов, влияющих на распределение содержания титана в объеме спекаемого композита из ZrO_2 – Ti.

Экспериментальная часть. На основе анализа литературных данных были предложены два механизма уменьшения содержания металла в приповерхностном слое с облучаемой стороны композита: полевая миграция и капиллярные эффекты.

При облучении пучком электронов с энергией E_0 в диэлектрике образуется объёмный отрицательный заряд вблизи поверхности. Эта область распространяется на глубину пробега электронов. Пробег электронов может быть определён по полуэмпирическому соотношению:

$$R = \frac{0,0276 \cdot M \cdot E_0^{1,67}}{\rho_M \cdot Z^{0,889}}, \quad (1)$$

где M – молярная масса вещества; ρ_M – плотность вещества; Z – зарядовое число.

Возникающее электрическое поле вызывает полевую миграцию ионов титана Ti^+ в область объемного отрицательного заряда. Мигрировавшие ионы выходят на поверхность и восстанавливаются электронами пучка с тепловыми энергиями с образованием поверхностной пленки Ti. Кроме того, скопление Ti+ образуется и в объеме под поверхностью, где образуется объемный отрицательный заряд вследствие ухода ионов Ti+ (рисунок 1, а). После прекращения облучения это скопление диффундирует в объеме композита с образованием наночастиц. Образованная пленка испаряется с поверхности композита в процессе электронно-лучевого облучения. Таким образом, в готовой структуре наблюдается уменьшение содержания титана в приповерхностном слое облучаемой стороны.

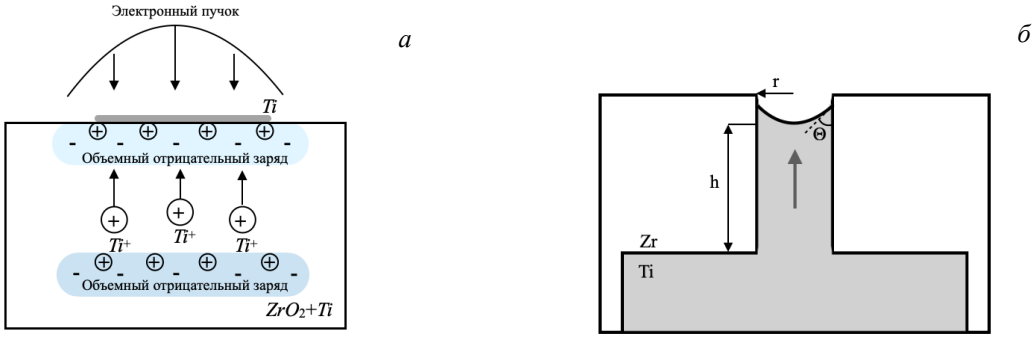


Рис. 1. Полевой(а) и капиллярный(б) механизмы уменьшения концентрации титана в приповерхностном слое: h – уровень поднятия расплава; r – радиус капилляра; θ – угол смачивания

С другой стороны, спекаемый образец содержит большое количество пор и при спекании образуется капиллярная структура, заполненная расплавненным титаном. Расплав смачивает стенки капилляра, образуется вогнутый мениск (рисунок 1, б). Под вогнутым мениском давление меньше, чем под плоской поверхностью. Поэтому расплав в капилляре поднимается до тех пор, пока гидростатическое давление поднятого в капилляре расплава на уровне плоской поверхности не скомпенсирует разность давлений.

Уровень поднятия расплава можно определить по формуле Жюрена [5]:

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta}{\rho_{Ti} \cdot g \cdot r}, \quad (2)$$

где σ – поверхностное натяжение титана; $\cos\theta$ – смачиваемость; ρ_M – плотность титана; g – ускорение свободного падения.

Поверхностное натяжение в формуле 2 может быть определено по выражению 3 [6]:

$$\sigma = K_\sigma \cdot \left(\frac{\rho_m}{\rho_{Ti}}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \exp\left(-0,0549 \cdot \frac{S}{R}\right), \quad (3)$$

где K_σ – масштабный коэффициент поверхностного натяжения (для Ti 2964,3 мДж/м^2); ρ_m – плотность при температуре плавления; S – энтропия; R – газовая постоянная.

В момент расплавления титана, при температуре 1941 К, поверхностное натяжение имеет максимальное значение. При условии полного смачивания расплав поднимается на всю толщину образца (рассчитанные значения h при температуре 1994 К (σ = 1330 мДж/м2) превышают 1 см для различных значений радиуса капилляра) и на поверхности титан испаряется. С ростом температуры почти линейно уменьшается поверхностное натяжение [6], кроме того, уменьшается плотность титана [7]. Таким образом, по мере нагрева образца уровень поднятия жидкости уменьшается и титан остается в нижней (необучаемой) части образца. Кроме того, в процессе спекания происходит уменьшение пористости и капилляры зарастают, что делает невозможным выход титана из образца.

Результаты. Определены два механизма уменьшения концентрации титана в приповерхностном слое керамики на основе ZrO_2 - Ti при электронно лучевом спекании. Полевая миграция возникает вследствие возникновения электрического поля при электронном облучении. Капиллярные эффекты возникают вследствие смачиваемости расплавленным титаном поверхности каналов в пористой структуре. Для появления капиллярных эффектов необходимо нагреть образец до температур плавления титана.

Заключение. В результате проведенного исследования выявлены 2 возможные причины уменьшения содержания титана в приповерхностном слое керамики в процессе спекания электронным лучом: полевая миграция и капиллярные эффекты. Для определения вклада этих явлений необходимы дальнейшие исследования.

Работа выполнена при поддержке Министерства высшего образования и науки, FEWM-2023-0012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Richerson, W. Modern Ceramic Engineering, Properties: Processing and Use in Design. – London: CRC Press, 2020. – 803 p.
2. Burdovitsin V.A, Klimov A.S, Oks E.M. (2009). On the possibility of electron-beam processing of dielectrics using a forevacuum plasma electron source. Technical Physics Letters, V. 35, I. 6, pp. 511–513.
3. Федоров П.П., Яроцкая Е.Г. Диоксид циркония. Обзор // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 169–187.
4. Климов А.С., Зенин А.А., Бакеев И.Ю., Окс Е.М. Формирование градиентных металлокерамических материалов с использованием электронно-лучевого облучения в форвакууме // Известия вузов. Физика. – 2019. – Т. 62, № 7(739). – С. 25-30.
5. Грабовский Р.И. Курс физики. – М.: Высш. школа, 1974. – 552 с.
6. Панфилович К.Б., Валеева Э.Э. Поверхностное натяжение жидких металлов // Вестник Казанского технологического университета. – 2006. – Т. 1. – С. 131–139.
7. Зиновьев В.И. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. – М.: Металлургия, 1989. – 384 с.

УДК 621.391.825

АНАЛИЗ РАЗЛОЖЕНИЯ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА В ЧЕТЫРЕХПРОВОДНОЙ СТРУКТУРЕ С ОПОРНЫМ ПРОВОДНИКОМ В ВИДЕ БОКОВЫХ ПОЛИГОНОВ ИЗ ДВУХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ ПОЛУВИТКОВ

Д.Ж. Жапова, Е.Б. Черникова

Научный руководитель: к.т.н. Е.Б. Черникова

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: dragondarima2001@mail.ru

ANALYSIS OF ULTRASHORT PULSE DECOMPOSITION IN A FOUR-CONDUCTOR STRUCTURE WITH A REFERENCE CONDUCTOR IN THE FORM OF SIDE POLYGONS OF TWO CASCADED HALF-TURNS

D.Z. Zhapova, E.B. Chernikova

Scientific Supervisor: PhD. E.B. Chernikova

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: dragondarima2001@mail.ru

Abstract. *The paper presents the results of quasi-static simulation of a four-conductor line with a reference conductor in the form of side polygons, in which two conductors are shorted by a bridge at the far end. Simulations were performed with different connection of conductors at the far end. Combinational pulses in the time responses of such structures were also revealed. Their delays consist of a combination of mode delays.*

Введение. Радиоэлектронная аппаратура (РЭА) повсеместно используется во всех областях жизнедеятельности человека. Однако уязвимость РЭА к электромагнитным воздействиям может повлечь за собой нежелательные последствия, например, периодические сбои в работе важных установок. Одной из причин нарушения работы РЭА могут являться кондуктивные помехи [1]. Одним из видов кондуктивного воздействия является сверхкороткий импульс (СКИ) [2]. Это сверхширокополосный импульс малой длительности, воздействие которого может быть опасно для РЭА, особенно для критичной. Для защиты РЭА от СКИ предложена технология модальной фильтрации, основанная на модальном разложении импульса на импульсы меньшей амплитуды из-за разницы задержек мод. Эта технология может быть реализована на основе модальных фильтров (МФ) и меандровых линий (МЛ) [3].

Кроме того, известен подход к совершенствованию модальной фильтрации за счет использования многопроводности и зеркальной симметрии проводников. Ранее исследовались различные схемы соединения зеркально-симметричного МФ, во временных откликах которых обнаружены комбинационные импульсы. Однако для более детального анализа появления комбинационных импульсов во временных откликах МПЛП необходимо рассмотреть другие ЛП. Например, представляется возможным исследовать на наличие комбинационных импульсов 4-проводную ЛП с боковыми полигонами, в которой 2 проводника закорочены перемычкой на дальнем конце, так что в результате сигнал проходит путь длиной 2*l*.

Цель работы – выполнить квазистатическое моделирование такой ЛП.

Экспериментальная часть. 4-проводная структура с опорным проводником в виде боковых полигонов представляет собой 8 в поперечном сечении прямоугольных проводников на диэлектрическом слое, причем проводники 2 и 3 расположены на одной его стороне, а 6 и 7 на обратной стороне диэлектрического слоя, а опорные проводники 1, 4, 5 и 8 расположены в виде боковых полигонов (рис. 1*а*). Анализ исходной схемы (рис. 1*б*) позволяет выделить несколько вариантов ее модификации в зависимости от соединения 2 полувитков длиной *l*, а концах 2 оставшихся пассивных проводников подключены резисторы. В результате, исследуются схемы, показанные на рис. 1 *в*, *г* и *д*.

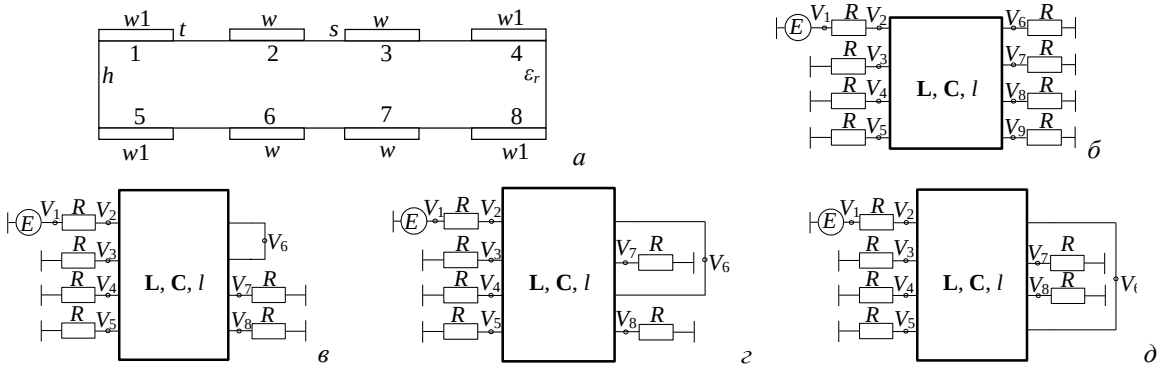


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и схемы соединения: исходная (б), 1 (в), 2 (г) и 3 (д) 4-проводной ЛП с боковыми полигонами

Результаты. Для анализа разложения СКИ в исследуемых схемах выполнено квазистатическое моделирование при *l*=1 м и *R*=50 Ом в программном продукте TALGAT [4]. Потери в проводниках и диэлектриках не учитывались. В качестве воздействия использовался источник ЭДС в форме трапеции с амплитудой 5 В с длительностями фронта, спада и плоской вершины по 50 пс, так что общая длительность составила 150 пс. Параметры поперечного сечения: ширина проводников w = 500 мкм, ширина заземленных проводников $w1$ = 1600 мкм, расстояние между проводниками s = 220 мкм, толщина проводников t = 18 мкм, толщина диэлектрика h = 300 мкм, относительная диэлектрическая проницаемость подложки ε_r = 4,5. Полученные формы напряжений на выходе (узлы V_3, V_4 и V_5 на рис. 1 *в*, *г* и *д*, соответственно) представлены на рис. 2 и 3. В табл. 1 сведены значения погонных задержек мод, а также их значения, умноженные на 2.

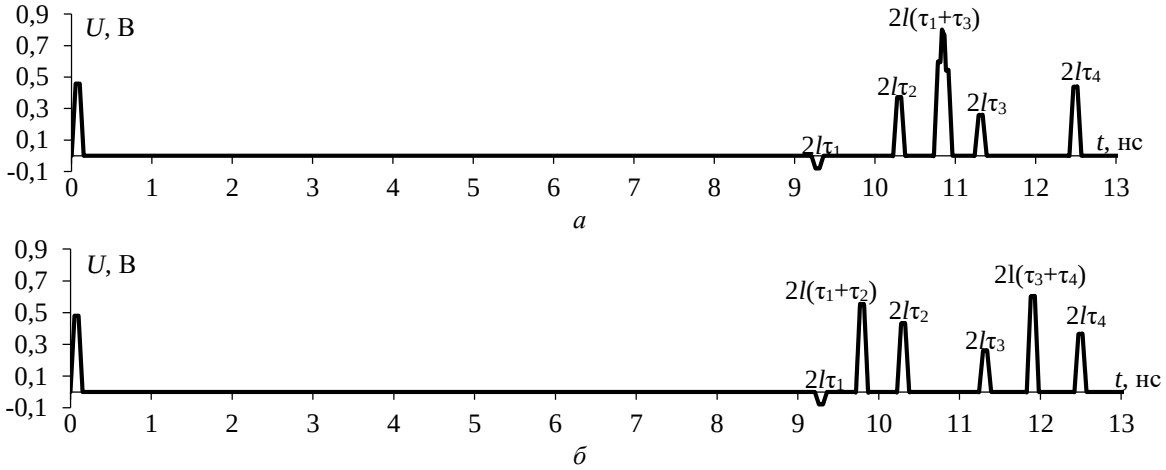


Рис.2. Формы напряжения на выходе схем: 1 (а), 2 (б) при l = 1 м

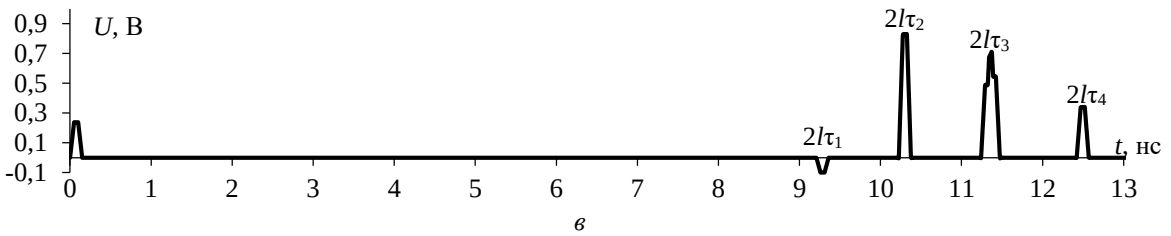


Рис.3. Формы напряжения на выходе схемы 3 при l = 1 м

Таблица 1

Значения погонных задержек импульсов (нс/м) для мод 1–4, умноженные на 1, 2

Множитель	1	2	3	4
1	4,60486	5,11329	5,62039	6,21027
2	9,20972	10,22658	11,24078	12,42054

Таким образом, из рис. 2 и 3 видно, что максимальная амплитуда определяется амплитудой комбинационных импульсов либо их наложением с основными и равна для схемы 1 – 0,8 В, для схемы 2 – 0,61 В, для схемы 3 –0,83 В. Кроме того, важной особенностью временных откликов является наличие среди импульсов с задержками, кратными 2 погонным задержкам мод, комбинационных импульсов с задержками некратными погонным. В явном виде это показано для схемы 2 – $l(\tau_1+\tau_2)$ = 9,715 нс/м и $l(\tau_3+\tau_4)$=11,83 нс/м. Можно предположить, что для схемы 1 и 3 импульсов больше, но они приходят почти одновременно с основными. Для схемы 1 это подтверждается возрастанием амплитуды импульса между импульсами мод 2 и 3, а для схемы 3 – самого импульса моды 2 и 3. Для подтверждения данного тезиса в дальнейшем планируется отделить комбинационные импульсы по методике [5]. А также выполнить оптимизацию с их учетом.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00187, https://rscf.ru/project/22-79-00187/ в ТУСУРе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gizatullin, Z.M., Gizatullin, R.M. Investigation of the immunity of computer equipment to the power-line electromagnetic interference // J. of Communications Technology and Electronics. – 2016. – № 5. – P. 546-550. doi: 10.1134/S1064226916050053.
2. Mora, N., Vega, F., Lugrin, G., Rachidi, F., Rubinstein, M. Study and classification of potential IEMI sources // System and assessment notes. – 2014. – № 41. – 93 p.
3. Gazizov A. T., Zabolotsky A. M., Gazizov T. R. UWB pulse decomposition in simple printed structures // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. - 2016. – V. 58., № 4. – P. 1136-1142.
4. Kuksenko S.P., Gazizov T.R., Zabolotsky A.M., Ahunov R.R., Surovtsev R.S., Salov V.K., Lezhnin Eg.V. Simulation and Applied Mathematics // Proc. of the 2015 Int. Conf. on Modeling. – 2015. – P. 293-301.
5. Chernikova E.B, Belousov A.O. Method for detecting additional pulses in the time response of structures with modal decomposition // 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). – Russia, Tomsk, Oct. 23–24, 2019. – P. 0245–0249.

УДК 004.934

РАСПОЗНАВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЕЙ CNN

А.С. Зазуля

Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.С. Харченко

Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: zazulyanastya@mail.ru

FOREST FIRE IDENTIFICATION WITH CNN MODELS

A.S. Zazulya

Scientific Supervisor: Asst Prof., PhD. S.S. Kharchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: zazulyanastya@mail.ru

Abstract. *In modern society, new digital technologies are applied in various spheres of human activity, thereby transforming traditional production processes in both social and economic activities. Forest fires and illegal logging cause enormous damage to both the environment and people and animals.*

Введение. С начала 22 года общая площадь лесных пожаров составила более 100 тысяч гектар, а незаконная вырубка в 21 году составила более 630 кубометров леса и ущерб составил около 8 миллионов рублей. Для отслеживания проблем пожарной обстановки и незаконной вырубки необходимо установить камеры в лесничествах и лесопосадках для избежание вреда, но человек не сможет уследить на камерах так, если это был бы ИИ. С помощью классификации объектов ИИ бы смог распознавать возгорание, задымление, пожар или вырубку дерева и подавал бы звуковой сигнал о потенциально опасные объекты (ПОО) [1, 2].

Экспериментальная часть. Распознавания лесных пожаров в Томской области не были использованы модели CNN: AlexNet, ResNet, VGGNet и GoogleNet [3].

Для сравнений результатов выбранный архитектур был выбран набор данных «Fire-Dataset» [4, 5]. Выбранный набор данных предназначен для обнаружения лесных пожаров. Набор данных является сбалансированным и состоит из 1900 изображений, которые были получены путем поиска по различным поисковым запросам в нескольких поисковых системах. Набор данных разделен на две папки: «Training», тренировочный набор данных и «Testing», тестовый набор данных.

Данный набор данных был выбран по причине того, что в нем имеется несколько состояний пожара. Для начала определим набор данных для обучающего и тестового набора, который был известен заранее. С помощью модуля в Tensorflow имеется возможность загрузить данные для обучения и определить классы, которые заранее известны. Визуализируем тренировочный набор данных для двух состояний леса, где 1 – пожар, а 0 – нет пожара

Для увеличения объема данных в обучающем наборе была приведена аугментацию данных с помощью метода «Отображения по вертикали или горизонтали» (flipping), которая дополнительно отклоняет изображение на определенный угол. В глубоком обучении обычно требуется, чтобы

количество выборок было достаточным. Чем больше количество выборок, тем лучше эффект обученной модели и тем сильнее способность модели к обобщению.

Далее был реализован класс «fit», который будет сохранять значение весов модели после каждой эпохи [6]. Эпоха использует все данные в обучающем наборе для проведения полного обучения модели.

Недостаточно итеративно обучить все данные один раз, их нужно повторять много раз, чтобы подогнать и сойтись. Во время фактического обучения все данные разбиваются на несколько пакетов, и каждый раз отправляется часть данных. Обновление весов с одной эпохой недостаточно.

По мере увеличения количества эпох увеличивается количество итераций обновления веса, и кривая переходит в состояние оптимальной подгонки из начального неподходящего состояния и, наконец, переходит в состояние переобучения.

Для каждой модели было установлено одинаковое количество эпох «Epoch = 100» и в процессе обучения модели были сохранены весовые значения.

Результаты. Потери – это значения, которые указывают на отличия от желаемого состояния, а точность – это количество полученных правильных прогнозов. На рис. 1-4 изображены графики изменения ошибок и точности с течением эпох для тренировочных и тестовых данных.

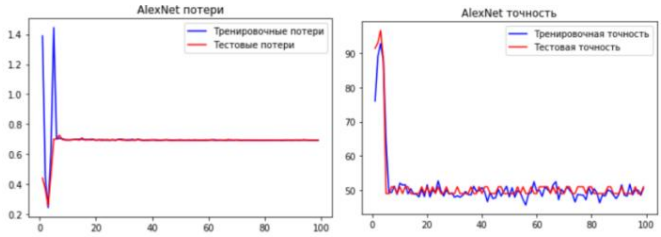


Рис. 1. Результаты AlexNet

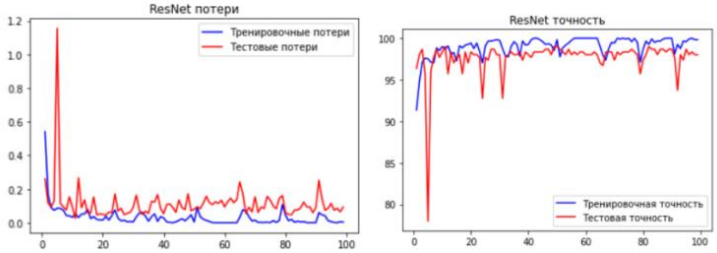


Рис. 2 Результаты ResNet

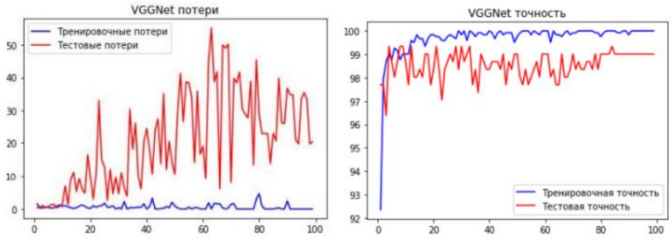


Рис. 3. Результаты VGGNet

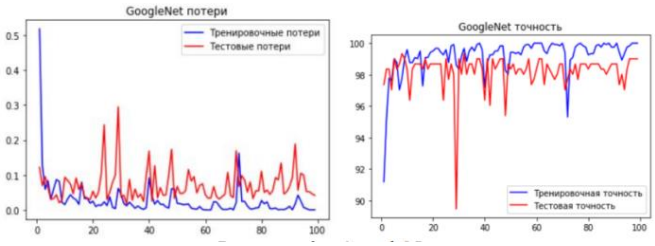


Рис. 4. Результаты GoogleNet

Метрика позволяет увидеть, как модель продвигается с точки зрения ее обучения.

Таблица 1

Точность и потери с последней эпохи для тренировочных и тестовых данных

	Потери (loss)		Точность (accuracy), %	
	Тренировочные	Тестовые	Тренировочные	Тестовые
AlexNet	0,69	0,69	50,58	50,99
ResNet	0,004	0,094	99,84	98,03
VGGNet	0	0,25	100	99,01
GoogleNet	0,0006	0,042	100	99,01

Заключение. В результате проведенных исследований можно увидеть, что наилучшей моделей распознавания является GoogleNet. Преимуществом использования модели GoogleNet является то, что использует модульную структуру, удобную для добавления и модификации, во избежание исчезновения градиента в сети добавление два дополнительных softmax для вспомогательной классификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Забурева А.Е., Преминов В.А. Анализ статистических данных по лесным пожарам в Томской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-statisticheskih-dannyh-po-lesnympozharam-v-tomskoy-oblasti. (дата обращения 05.09.2022).
2. Ермоленко А.А. Анализ состояния и причин изменения лесистости в Центральном федеральном округе: сложившаяся практика и возможные решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/analizsostoyaniya-i-prichin-izmeneniya-lesistosti-v-tsentralnom-federalnom-okrugeslozhivshayasya-praktika-i-vozmozhnye-resheniya. (дата обращения: 10.10.2022).
3. Сикорский О.С. Обзор свёрточных нейронных сетей для задачи классификации изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-svyortochnyh-neyronnyh-setey-dlyazadachi-klassifikatsii-izobrazheniy. (дата обращения 21.11.2022).
4. Forest Fire Dataset [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kaggle.com/datasets/alik05/forest-firedataset?select=Forest+Fire+Dataset (дата обращения: 19.12.2022).
5. Апарнев А.А., Бартеньев О.В. Анализ функций потерь при обучении сверточных нейронных сетей с оптимизатором adam для классификации изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42663628 (дата обращения: 20.12.2022).
6. An introduction to machine learning with scikit-learn [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://scikit-learn.org/stable/tutorial/basic/tutorial.html (дата обращения: 25.12.2022).

УДК 004.032.26

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

С.В. Затеев

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Е.Ю. Костюченко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: zateev.stanislav@gmail.com

USING A NEURAL NETWORK FOR SEGMENTATION OF MEDICAL IMAGES

S.V. Zateev

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. E.Yu. Kostyuchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: zateev.stanislav@gmail.com

Abstract. *It is often necessary to monitor the position of the catheter on X-ray images during operations. The purpose of this project is to develop a system designed to solve this problem. The solution of the problem is reduced to image segmentation – splitting an image into a set of areas covering it. Neural networks cope with this operation most effectively. In this case, a neural network of the U-Net architecture is used, which includes 5 convolutional layers. As a metric used to assess the quality of predictions, the Dice metric is used, which allows leveling the effect of class imbalance on the quality of the network. The resulting product allows the catheter to be isolated on an X-ray image with an accuracy sufficient to achieve the goal.*

Введение. Часто в процессе операций докторам необходимо отслеживать положение катетера на рентгеновских снимках. Целью данного проекта является разработка программного продукта, предназначенного для решения этой задачи.

Глубокое обучение – это метод машинного обучения, который моделируется мозгом человека. Глубокое обучение использует интеллектуальные системы, называемые искусственными нейронными сетями, для обработки информации слоями. Компьютерное зрение – это реальное применение глубокого обучения [1]. На практике поставленная задача сводится к задаче сегментации изображений. Сегментация изображения – это разбиение изображения на множество покрывающих его областей. В статистике эта проблема известна как кластерный анализ и является широко изученной областью с множеством различных алгоритмов [2].

Экспериментальная часть. Одной из нейронных сетей, наиболее часто используемых для решения задач сегментации, является сверточная нейронная сеть U-Net. В основе архитектуры U-Net лежит несколько операций: свертка (Convolution), объединение (Pooling), конкатенация (Concatenation) и повышающая дискретизация (UpSampling). Наглядно архитектура сети U-Net представлена на рисунке 1. Ее популярность обусловлена ее способностью достигать высоких результатов на ограниченной выборке тренировочных данных. Часто архитектуру U-Net используют именно для обработки медицинских изображений.

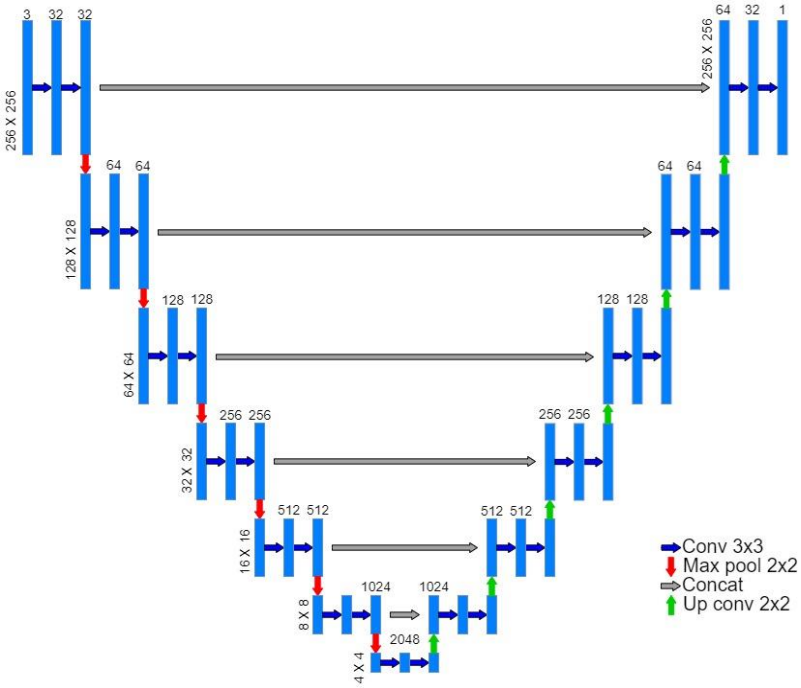


Рис. 1. Архитектура сети U-Net

Как видно из архитектуры, результатом работы U-Net является изображение по параметрам идентичное исходному, это дает возможность при помощи сети разметить маску, которая будет разделять изображение на несколько классов

В процессе обучения нейросети используется оптимизатор Adam. Adam – это алгоритм оптимизации, который можно использовать вместо классической процедуры стохастического градиентного спуска для итеративного обновления весов сети на основе обучающих данных. Стохастический градиентный спуск поддерживает единую скорость обучения для всех обновлений веса, и скорость обучения не изменяется во время тренировки. В Adam скорость обучения поддерживается для каждого веса сети и отдельно адаптируется по мере развития обучения. Метод вычисляет индивидуальные адаптивные скорости обучения для различных параметров из оценок первого и второго моментов градиентов. В качестве метрики, используемой для оценки качества предсказаний, используется метрика Дайса, позволяющая нивелировать влияние дисбаланса классов на качество работы сети.

На рисунке 2 представлен пример исходного изображения (слева) и размеченного изображения (справа).

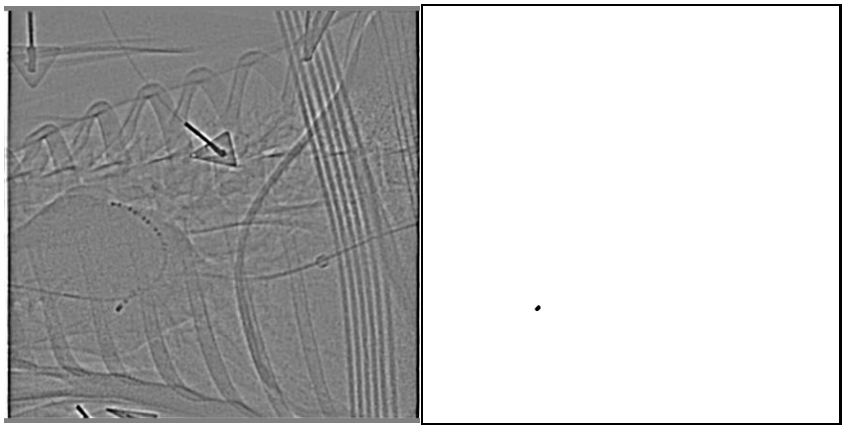


Рис. 2. Пример тренировочных данных

Результаты. Результат предсказания для одного из снимков представлен на рисунке 3 (слева). Справа на том же рисунке для сравнения приведен идеальный результат. Метрика Дайса в данном случае равна 0,518 на тренировочной выборке и 0,437 на тестовой.

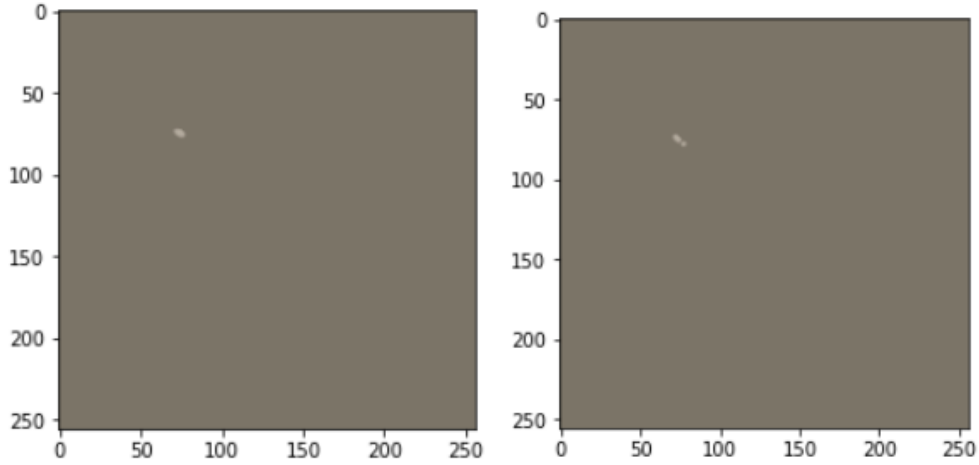


Рис. 3. Результат предсказания

Заключение. В результате получена обученная нейросеть, позволяющая сегментировать изображение с некоторой точностью. Точность определения достаточна для достижения поставленной цели – определение положения катетера на рентгеновском снимке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Что такое машинное обучение? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aws.amazon.com/ru/what-is/machine-learning/ (дата обращения 9.03.2023).
2. Ричард Селиски «Компьютерное зрение: алгоритмы и приложения» - «Спрингер», 2010. – С. 286-300.

УДК 004.056.5

ПРОДЛЕННАЯ АУТЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КЛАВИАТУРНОГО ПОЧЕРКА

С.В. Затеев

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Е.Ю. Костюченко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: zateev.stanislav@gmail.com

EXTENDED USER AUTHENTICATION BASED ON THE ANALYSIS OF KEYBOARD HANDWRITING

S.V. Zateev

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. E.Yu. Kostyuchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: zateev.stanislav@gmail.com

Abstract. *Today, means of identification and authentication are among the most common methods of information protection. Information about the dynamics of the user's work with the keyboard can be used as authentication data. The development of an extended authentication system based on the dynamics of the user's work with the keyboard is divided into 2 subtasks: the formation of data sets suitable for the use of the classifier, and the training of the classifier on the prepared data. At the stage of forming suitable data sets, the source data is divided into windows, and a set of statistical features for analysis is allocated in each window. At the stage of using the classifier, the optimal parameters of the classifier for training are selected. The resulting model is able to accurately determine the legitimacy of the user by a set of characteristics of the dynamics of his work with the keyboard.*

Введение. В настоящее время информационные технологии применяются во всех сферах нашей жизни. Огромные объемы личной и корпоративной информации хранятся в цифровом виде. В связи с этим возникает проблема защиты этой информации, обеспечения ее безопасности. В настоящее время один из наиболее распространенных методов защиты информации – средства идентификации и аутентификации. Согласно современным стандартам по информационной безопасности в качестве аутентификационных данных может использоваться информация о динамике работы пользователя с клавиатурой [1-3].

Цель работы – изучение собранных данных, характеризующих динамику работы с клавиатурой, их обработка и преобразование к виду, необходимому для осуществления возможности работы с ними классификатора, а также обучение классификатора на полученных данных и анализ качества его работы.

Экспериментальная часть. Для проведения исследования были собраны данные о работе 25 пользователей с клавиатурой. Пользователи записывались в несколько сеансов, в процессе фиксировались номер сеанса, порядковый номер события в сеансе, идентификатор нажатой клавиши, тип события (нажатие или отпускание клавиши) и временная метка, соответствующая произошедшему событию.

Разработка системы продленной аутентификации на основе динамики работы пользователя с клавиатурой состоит из 2-х подзадач: формирование наборов данных, пригодных к использованию классификатора, и обучение классификатора на подготовленных данных.

На этапе формирования пригодных наборов данных исходные данные разбиваются на окна, в каждом окне выделяется набор статистических признаков для анализа. В данной работе окно включает в себя 1000 событий, шаг между началом двух следующих друг за другом окон равен 500 событиям. Таким образом, окна перекрываются на 50%. В качестве признаков использованы временные интервалы между событиями (нажатием и отпусканием) клавиш и их сочетаний (N-грамм). Используются характеристики наиболее часто употребляемых N-грамм. На рисунке 1 представлен принцип выделения признаков на примере триграммы. Используются временные интервалы между нажатиями первой и второй клавиш, между нажатием и отпусканием первой и второй и первой и третьей клавиш, а также между отпусканием и нажатием первой и второй и второй и третьей клавиш. Т.к. конструкция встречается несколько раз в окне, для каждого признака определяются среднее значение, среднеквадратичное отклонение и коэффициент асимметрии.

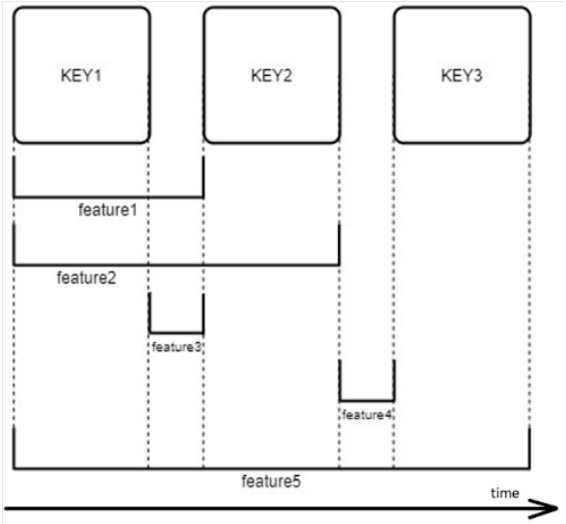


Рис. 1. Признаки, описывающие триграмму Key1-Key2-Key3

На этапе использования классификатора производится подбор оптимальных параметров классификатора для обучения. В качестве классификаторов лучше всего себя показали решающие деревья и случайные леса. Был проведен поиск оптимальных параметров для каждого из классификаторов. Параметры для деревьев: критерий (энтропия Шеннона), максимальная глубина (от 1 до 10), количество выборок для кросс-валидации (от 2 до 10), минимальный размер листа (от 10 до 30 (с шагом 10)), минимальный размер узла, используемого для разбиения (от 30 до 50 (с шагом 10)). Параметры для лесов: критерий (энтропия Шеннона, критерий Джини), количество деревьев (от 40 до 60 (с шагом 10)), максимальная глубина (от 1 до 10), количество выборок для кросс-валидации (от 2 до 10), минимальный размер листа (от 10 до 30 (с шагом 10)), минимальный размер узла, используемого для разбиения (от 30 до 50 (с шагом 10)).

Результаты. На рисунке 2 представлено сравнение наиболее эффективных классификаторов (2 решающих дерева, и 3 случайных леса) по следующим метрикам: accuracy, recall, precision, f1-score,

меры Жаккара, Серенсена, Браун-Бланке, Шимкевича-Симпсона, Отиаи, Кульчинского, а также площадь под кривой ошибок (ROC-AUC).

metrics	tree_cv4	tree_cv6	forest_cv2	forest_cv5	forest_cv7
accuracy	0.920852	0.920852	1.0	0.926180	0.817352
precision	0.851515	0.851515	1.0	0.854135	0.702970
recall	0.989437	0.989437	1.0	1.000000	1.000000
f1	0.915309	0.915309	1.0	0.921330	0.825581
roc_auc	0.929035	0.929035	1.0	0.934987	0.839142
jaccard	0.843844	0.843844	1.0	0.854135	0.702970
serensen	0.925081	0.925081	1.0	0.921330	0.825581
braun_blanke	0.860606	0.860606	1.0	0.854135	0.702970
shimkevich_simpson	1.000000	1.000000	1.0	1.000000	1.000000
otiai	0.927689	0.927689	1.0	0.924194	0.838433
kulchinski	0.930303	0.930303	1.0	0.927068	0.851485

Рис. 2. Сравнение эффективности классификаторов

Заключение. В процессе работы были изучены собранные данные, характеризующие динамику работы пользователя с клавиатурой, были выделены признаки определяющие динамику работы пользователя с клавиатурой, на полученных данных был обучен классификатор и проведен анализ качества его работы. Таким образом, полученная система с хорошей точностью способна определять легитимность пользователя и пригодна для проведения аутентификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 52633.0-2006. Защита информации. Техника защиты информации. Требования к средствам высоконадежной биометрической аутентификации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/1200048922 (дата обращения 09.03.2023).
2. ГОСТ Р 54412-2011/ISO/IEC/TR 24741:2007. Информационные технологии (ИТ). Биометрия. Обучающая программа по биометрии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/1200094221 (дата обращения 09.03.2023).
3. ГОСТ ISO/IEC 24713-1-2013 Информационные технологии (ИТ). Биометрические профили для взаимодействия и обмена данными. Часть 1. Общая архитектура биометрической системы и биометрические профили [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/1200107284 (дата обращения 09.03.2023).

УДК 535.372, 535.373

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОРГАНИЧЕСКИХ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДАХ

Н.В. Измайлова

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. Л.Г. Самсонова

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: izmailova.sfti@gmail.com

PROMISING ORGANIC COMPOUNDS FOR USE IN ORGANIC LIGHT-EMITTING DIODES

N.V. Izmailova

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D., L.G. Samsonova

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

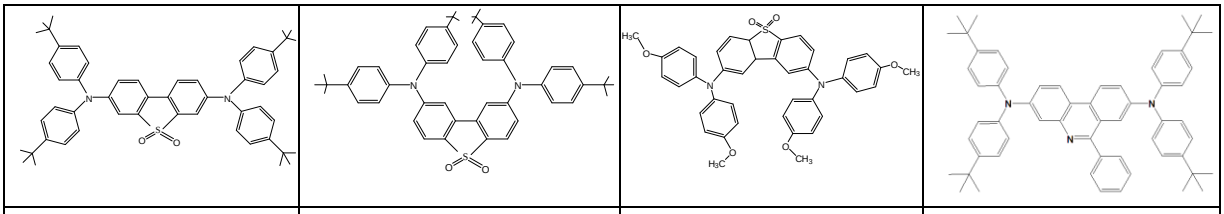
E-mail: izmailova.sfti@gmail.com

Abstract. *The spectral characteristics and luminescence under photoexcitation of substituted dibenzthiophenesulfone and phenanthridine are investigated. All molecules reveal thermally activated delayed fluorescence both in solutions and in films obtained by thermal vacuum deposition (TVD).*

Введение. Дисплеи на основе органических светоизлучающих диодов (ОСИД, англ. OLED) – это новое поколение систем отображения информации. Они обладают преимуществами перед дисплеями предыдущих поколений, такими как: яркие цвета, меньшая потребляемая мощность, низкое рабочее напряжение. В России производство таких дисплеев уже начато в ОАО ЦНИИ «Циклон», и в настоящее время стоят задачи по увеличению световой эффективности, яркости, надежности и снижению себестоимости [1]. От характеристик излучающего слоя в большей степени зависят характеристики самого OLED, поэтому повышение эффективности и увеличение яркости связаны, прежде всего, с использованием новых более эффективных органических электролюминесцентных материалов. Сохранить высокую эффективность устройства при высокой яркости можно использованием в OLED структуре фосфоресцентных материалов (фосфоров), имеющих высокий квантовый выход – до 100 %, при крайне низком спаде эффективности в зависимости от времени работы. Но использование фосфоров в структуре OLED имеет существенные недостатки: в их составе дорогостоящие редкоземельные элементы и процессы синтеза таких материалов достаточно сложны [2]. В 2012 году Adachi [3] предложил использовать флуоресцентные материалы следующего поколения - в молекулах которых высока вероятность обратной интеркомбинационной конверсии из T_1 состояния в S_1 состояние. В этом случае большая доля триплетных экситонов излучает свет в виде термически активированной замедленной флуоресценции (ТАЗФ или англ. TADF). Материалы с ТАЗФ имеют гораздо более простую схему синтеза, расширенный выбор исходных компонентов и значительно дешевле фосфоресцирующих материалов. С 2012 года число публикаций по материалам с ТАЗФ возросло с десятка в год до нескольких тысяч, сейчас для OLED предложен уже большой набор малых молекул, дендримеров и полимеров с ТАЗФ люминесценцией, и интерес к таким материалам продолжает расти [4, 5].

Исследование направлено на определение влияния конформационных изменений излучающих молекул в возбужденном состоянии на эффективность процесса термически активированной замедленной флуоресценции.

Экспериментальная часть. В работе исследованы спектральные характеристики и люминесценция при фотовозбуждении замещенных дибензтиофенсульфона и фенантридина: шифр L1, L2, L3, L4, структурные формулы которых представлены на рис.1. Роль заместителей выполняют дифениламины, введенные во 2-е и 7-е положения (линейная конфигурация) или 3-е и 6-е положения (угловая конфигурация) дибензтиофенсульфона или фенантридина. Все молекулы обнаруживают термально активированную замедленную флуоресценцию как в растворах, так и в пленках, полученных термовакуумным осаждением (ТВО).



L1	L2	L3	L4

Рис. 1. Структурные формулы исследованных соединений

Результатов. L1 и L4 условно отнесем к соединениям линейного строения, L2 и L3 -углового строения.

Таблица 1

Спектральные характеристики соединений

	L1			L2			L3			L4		
Растворитель	$CHCl_3$	Этанол	ТВО	$CHCl_3$	Этанол	ТВО	$CHCl_3$	Этанол	ТВО	$CHCl_3$	Этанол	ТВО
$\lambda_{Погл}$, нм	382, 440	376, 432	380, 432	362	360	360	377, 433	370, 440	370, 440	358	350	356
$\lambda_{Фл}^{296}(\lambda_{Фл}^{77})$, нм	525	538 (483/513)	517 (518/539)	512	548 (467)	485 (488)	518	526 (504)	502 (501)	553	605 (501)	535 (530)
$\lambda_{Фл}^{296}(\lambda_{Фл}^{77})$*, нм	-	511	527 (539)	-	495	488	-	530	-	-	605	-
$\lambda_{Фос}^{77}$, нм	-	596	632/687	-	523	535	-	566	570	-	534/565	560/591

* регистрация в режиме «фосфоресценция» (Δt=200 мкс)

Для всех соединений характерно практически полное отсутствие эффекта сольватохромии, т.е. смена среды окружения (этанол, хлороформ, пленка ТВО) почти не оказывала влияния на положение спектров поглощения. Излучение ТАЗФ возникает из синглетного состояния с характером переноса заряда и проявляется в виде широкой, бесструктурной гауссовой полосы и сильно зависит от полярности растворителя, демонстрируя сдвиг к более низким энергиям при увеличении полярности растворителя. Так при смене хлороформа на более полярный этанол спектры флуоресценции сдвигаются в красную область на 20-40 нм (табл.1). Характерно, что положение максимумов флуоресценции всех соединений в пленках ТВО наиболее коротковолновое, но близкое к таковым в растворе хлороформа. Это говорит о том, что в пленках ТВО при более тесной упаковке молекул в образце по сравнению с растворами низкой

концентрации соединения не вступают в специфические межмолекулярные взаимодействия и сохраняют свои индивидуальные свойства.

ТАЗФ включает переход из триплетного состояния в синглетное с характером переноса заряда, причем этот процесс термически активируется, т. е. при понижении температуры наблюдается меньшая эмиссия ТАЗФ. Напротив, фосфоресценция включает прямое излучение из триплетного состояния, поэтому при понижении температуры эффект гашения колебаний уменьшается, а интенсивность фосфоресценции увеличивается, как это наблюдается в настоящей работе. Для всех соединений характерно, что по мере снижения температуры интенсивность флуоресценции сильно возрастает. Так, для L1 и L2 интенсивность возрастает почти в 4 раза, для L4 - в 6 раз, а для L3 в 30 раз.

Спектры излучения, зарегистрированные с задержкой 200 мкс после вспышки лампы, при комнатной температуре в растворах этанола полностью совпадают со спектрами «быстрой флуоресценции». Совпадение полос излучения дает основание считать, что регистрируемое излучение принадлежит замедленной флуоресценции.

Заключение. Ряд этих соединений обладает аномальной замедленной люминесценцией, свечение которой расположено в коротковолновой области по отношению к обычной флуоресценции. Сдвиг полосы в среднем составляет 20-40 нм. При температурах жидкого азота обе люминесценции (нормальная и замедленная) находятся в одной области спектра, как в обычных ТАЗФ материалах. Причиной такого смещения предположительно является образование так называемых «скрученных» состояний (twisted intramolecular charge transfer - TICT), формирующихся в процессе значительного перераспределения заряда между фрагментами. Детальный механизм одновременного проявления TADF и TICT еще не до конца понятен, поэтому его изучение является фундаментальной научной задачей, имеющей прикладное значение, поскольку его понимание позволит создавать органические светоизлучающие диоды с высокой эффективностью излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грачёв О.А., Кудряшова Е.Ф., Усов Н.Н. Структуры микродисплеев на основе органических светодиодов зеленого цвета свечения с использованием материалов термически активированной замедленной флуоресценции // Доклады БГУИР. Спецвыпуск. – 2019. – № 7. – С.67– 73.
2. Qu Y., Slootsky M., Forrest S.R. Enhanced light extraction from organic light-emitting devices using a sub-anode grid // Nature Photonics. – 2015. – Vol. 9. – P. 758–763. DOI: 10.1038/nphoton.2015.194
3. Uoyama H., Goushi K., Shizu K., Nomura H., Adachi C. Highly efficient organic light-emitting diodes from delayed fluorescence // Nature. – 2012. – Vol. 492, Issue 13. – P. 234-240. DOI: 10.1038/nature11687.
4. Dias F.B., Bourdakos K.N., Jankus V., at all. Triplet harvesting with 100% efficiency by way of thermally activated delayed fluorescence in charge transfer OLED emitters. // Advanced Materials. – 2013. – Vol. 25, Issue 27. – P. 3707-3714. DOI: 10.1002/adma.201300753.
5. Michael Y. Wong, Eli Zysman-Colman. Purely Organic Thermally Activated Delayed Fluorescence Materials for Organic Light-Emitting Diodes. // Advanced Materials. – 2016. – Vol. 29, Issue 22. – P. 1-54. DOI: doi.org/10.1002/adma.201605444.

УДК 62.787

ASSESSMENT OF LIFETIME DATA OF EQUIPMENT

E.K. Ketter

Scientific Supervisor: Prof., A.G. Korotkikh

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: elvisketter09@gmail.com

ОЦЕНКА ДАННЫХ О СРОКЕ СЛУЖБЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Э.К. Кеттер

Научный руководитель: профессор, А.Г. Коротких

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: elvisketter09@gmail.com

Аннотация. *Основной целью анализа данных о сроке службы является прогнозирование надежности и частоты отказов на определенный период времени с использованием параметров функции плотности вероятности. В результате важно описать предыдущие данные о неисправностях и ремонте, тип данных и способы получения информации от экспертов. В статье представлены этапы анализа данных за весь срок службы.*

Introduction. Plant production can be increased while operating costs are greatly decreased with proper equipment maintenance [1]. Professionals in maintenance and dependability can decide on maintenance procedures, inspection procedures, and failure patterns with the help of historical data. A system reliability can be calculated, for instance, by assigning a likelihood of failure to an event and using some probability calculations. To obtain the most precise estimate of the component reliability and, as a result, the system reliability, it is crucial to correctly model the chance of failure [2]. The failure rate plays a key role as a planning parameter for risk-based maintenance optimization [3], optimal maintenance planning [4], and reliability-centered asset maintenance [5].

Methodology. To determine reliability of different components, life data analysis is essential. The lifespan data analysis typically entails the following steps [6]:

1. Collecting and identifying the data sample. The data sample can either be grouped or not grouped data.
2. Choosing the data type. The data type can either be complete, right censored, left censored or multi censored.
3. Performance of goodness of fit test. The most common methods are the plot method, Cramer-von mises, rank regression, likelihood method, Komogorov-Smirnov and Chi-square method.
4. Choosing the probability density function (PDF). Exponential, normal, logistic, lognormal, Weibull, gumbel, gama, rayleigh, and gama g functions are used in mathematics to represent PDFs for reliability engineering. For our research, the Weibull distribution was chosen. The next step will be to define probability density function parameters.
5. Index prediction. This involves PDF function, reliability function, failure rate function, and unreliability function.

Case study on a pump. The initial step in the analysis is to gather failure time data over a 5-year period and separate the many failure types connected with this pump. The pump failure history card is where you may find the history of pump failures. Data from the collection was found to be complete. The best fit analysis is the next stage, which determines which distribution best matches our data. In our case it was found to be 2-parameter Weibull distribution. The estimation method used was ranked regression. Weibull parameters were calculated using the median ranking approach, which employed Bernard's approximation. To perform analysis, Relyence software was used. The calculation results for shape and scale parameters for bearing, mechanical seal and impeller of the centrifugal pump are shown in Table 1. With the parameters, it is possible to calculate reliability and failure rates at any moment using equations presented in Table 1. Figures 1, 2 and 3 show the probability plots of mechanical seal, impeller and bearing.

Table 1

Results from Relyence software

Component	Shape (β)	scale (η(Eta))	Reliability	Failure Rate
Bearing	1.9146	1561.091	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$	$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)\right)^{\beta-1}$
Mechanical Seal	1.189	1222.409		
Impeller	1.6448	1147.377		

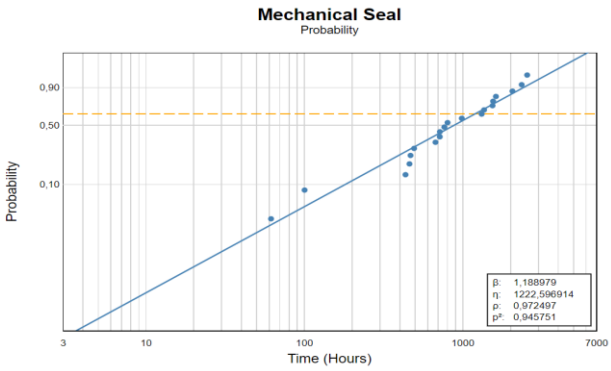


Fig. 1. Probability plot of the mechanical seal

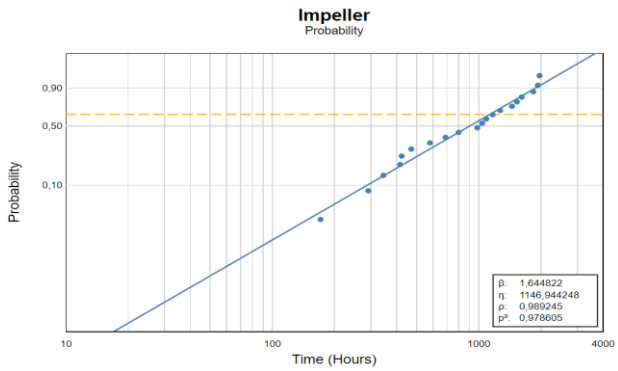


Fig. 2. Probability plot of the impeller

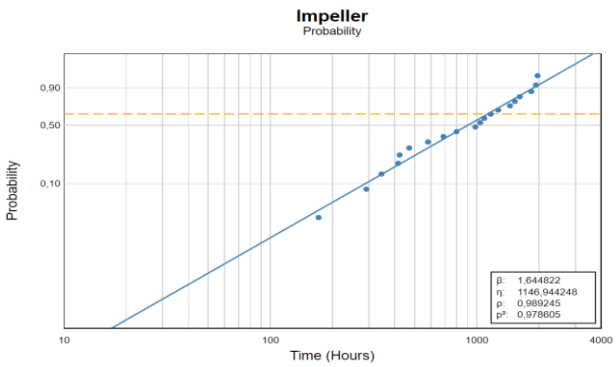


Fig. 3. Probability plot of the bearing

Conclusion. An important tool for performing maintenance and ensuring the reliability of equipment is provided by the availability indicators in equipment monthly report. The system reliability value can be modified by a number of factors depending on the findings of the analysis that is done in the case study. In order to define such indexes as failure rate, reliability, availability, and mean time to failure (MTTF) to support decisions in finding the best time for inspection, maintenance, to see if the equipment has met a reliability requirement, and to provide information to new projects, it is necessary to first understand how failures occur over time. Historical data on failure modes are required to undertake lifetime data analysis. Exponential, normal, logistic, lognormal, and Weibull functions are used in mathematics to represent Probability Density Functions for reliability engineering. By using any probability distribution function for analysis, industries will be able to set priorities for any equipment based on their availability or order of importance to operations.

REFERENCES

1. Thin K.C., Khaing M.M., & Aye K.M. (2008). Design and performance analysis of centrifugal pump. World academy of science, engineering and technology, 46(1), pp. 422-429.
2. Jürgensen J.H. (2018). Individual failure rate modelling and exploratory failure data analysis for power system components (Doctoral dissertation, KTH Royal Institute of Technology).
3. Besnard F., & Bertling, L. (2010). An approach for condition-based maintenance optimization applied to wind turbine blades. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 1(2), pp. 77-83.
4. Moradkhani A., Haghifam M.R., & Mohammadzadeh M. (2014). Bayesian estimation of overhead lines failure rate in electrical distribution systems. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 56, pp. 220-227.
5. Bertling L., Allan R., & Eriksson R. (2005). A reliability-centered asset maintenance method for assessing the impact of maintenance in power distribution systems. IEEE Transactions on power systems, 20(1), pp. 75-82.
6. Calixto E. (2016). Gas and oil reliability engineering: modeling and analysis. Gulf Professional Publishing, 794 p.

УДК: 621.396

О ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ПРЯМОУГОЛЬНОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ

Д.В. Клюкин, А. Алхадж Хасан
Научный руководитель: доцент, д.т.н., С.П. Куксенко
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: dv_klyukin@tu.tusur.ru

ON THE ACCURACY OF CALCULATING THE PARAMETERS AND CHARACTERISTICS OF A RECTANGULAR SPIRAL ANTENNA BY THE METHOD OF MOMENT

D.V. Klyukin, A. Alhaj Hasan
Scientific Supervisor: Ass. Prof., Dr., S.P. Kuksenko
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: dv_klyukin@tu.tusur.ru

Abstract. *The accuracy of calculating the parameters and characteristics of rectangular spiral antenna using the Triangle-Grid and Wire-Grid modules that using the method of moment was evaluated in comparison with the method of finite difference time domain using EMPro. It was found that both modules provide acceptable results that well correlated with those obtained in EMPro. However, Triangle-Grid showed higher accuracy in calculating the antenna input impedance, possibly due to the use of a more precise source model.*

Введение. Метод моментов (MoM) является одним из наиболее часто используемых численных методов при моделировании антенн. Он обладает простым алгоритмом и способен давать приемлемые результаты с использованием меньших вычислительных ресурсов, чем другие численные методы [1]. MoM, дискретизируя проводящую поверхность антенны, заменяет ее эквивалентными поверхностными токами, после чего, используя принцип взаимности, решается задача излучения на основе этих токов [2].

Дискретизация поверхности антенны выполняется с использованием проводной сетки [3] или плоских геометрических фигур, как правило, треугольников [2]. Каждый из этих подходов имеет свои достоинства и недостатки [4]. При этом развитие этих подходов не прекращается [5]. Так, недавно на их основе разработаны два программных модуля, названные Wire-Grid [6] и Triangle-Grid [7]. Для их эффективного использования в будущих исследованиях необходимо верифицировать их результаты. Поэтому цель данной работы – сравнение полученных в Wire-Grid и Triangle-Grid результатов с результатами, полученными методом конечных разностей во временной области (МКРВО), на примере моделирования прямоугольной спиральной антенны.

Экспериментальная часть. Использована модель планарной прямоугольной спиральной антенны со следующими параметрами: W = 3,19 мм, L = 104,9 мм, L_i = 1,59 мм, число витков t = 4 (рис. 1*а*). Результаты моделирования сравнивались с полученными МКРВО в системе автоматизированного проектирования (САПР) EMPro. Для дискретизации модели антенны в Triangle-Grid и EMPro использовались ячейки размером λ/40. В Wire-Grid использовалась адаптивная сегментация с

радиусом проводов $W / 2$. Каждый виток модели в Wire-Grid разделялся на $m = 1, 2, 3$ и 4 частей, после чего каждая из них сегментировалась на $m \times n \times t$ сегментов, где $n = 5, 4$ и 3 на частотах 1, 3 и 5 ГГц соответственно (рис. 1*б*). Для возбуждения антенны в Triangle-Grid использовался порт из работы [7], в EMPro – дискретный порт, а в Wire-Grid – отрезок провода.

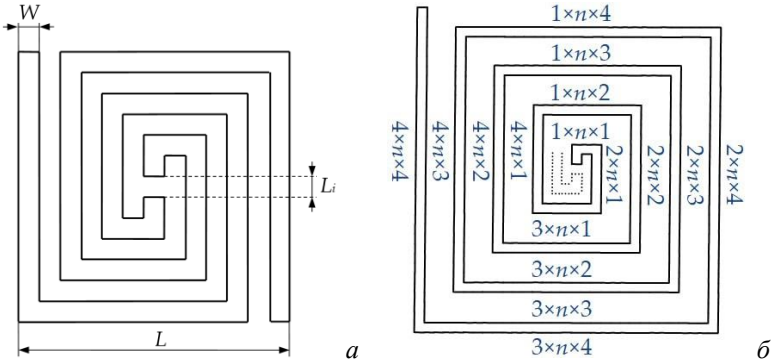


Рис. 1. Модель спиральной прямоугольной антенны: вид сверху (а) и схема адаптивной сегментации в Wire-Grid (б)

Результаты. На рис. 2 приведены диаграммы коэффициента усиления (КУ) антенны в плоскостях *E* и *H*, полученные с помощью модулей Triangle-Grid, Wire-Grid и EMPro на частоте 1 ГГц. Видно, что оба модуля дали близкие к EMPro результаты. В таблицу 1 сведены полученные максимальные значения КУ ($КУ_{макс}$) и их относительных отклонение (ОО) от значений, полученных в EMPro. Как видно, максимальное различие не превышает 6 %.

В таблицу 2 сведены рассчитанные значения входного импеданса антенны и их ОО от EMPro, а также общее число используемых базисных функций *N*. Как видно, Triangle-Grid, по сравнению с EMPro, дает более точные результаты с максимальной разницей в 24 %. При этом результаты, полученные в Wire-Grid, отличаются от EMPro до 35 %.

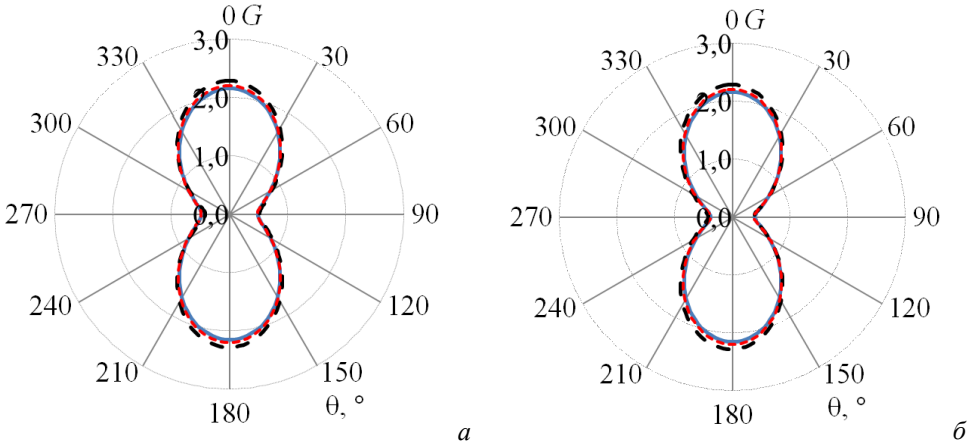


Рис. 2. КУ спиральной прямоугольной антенны на частоте 1 ГГц в плоскостях E (а) и H (б): Triangle-grid (- - -), Wire-grid (- - -) и EMPro (—)

Таблица 1

Максимальные значения КУ спиральной прямоугольной антенны и их ОО от EMPro

Модуль	Значение	1 ГГц	3 ГГц	5 ГГц
Wire-Grid	$КУ_{макс}$	2,20	3,53	3,20
Triangle-Grid	$КУ_{макс}$	2,28	3,57	3,47
EMPro	$КУ_{макс}$	2,15	3,74	3,37
Wire-Grid	ОО, %	2	6	5
Triangle-Grid	ОО, %	6	5	3

Таблица 2

Значения входного импеданса спиральной прямоугольной антенны и их ОО от EMPro

Модуль	Частота, ГГц	Импеданс (Ом)	ОО, %	*N*
EMPro	1	170,9–j30,1	–	38808
	3	154,1–j43,7	–	164604
	5	143,6+j88,1	–	322080
Wire-Grid	1	113,0–j37,2	31,44	861
	3	87,6–j60,5	33,53	689
	5	154,8–j21,0	7,27	517
Triangle-Grid	1	175,8–j38,2	3,67	577
	3	153,5–j7,7	4,05	3579
	5	209,5+j19,4	24,89	10145

Заключение. В работе оценена точность моделирования прямоугольной спиральной антенны с использованием модулей Triangle-Grid и Wire-Grid основанных на методе моментов. Модули отличаются способом описания поверхности антенны. Первый использует совокупность треугольников, а второй – проводов. Показано, что оба модуля дают приемлемые результаты, согласующиеся с полученными МКРВО в САПР EMPro. При этом Triangle-Grid позволил получить более близкие к EMPro значения входного импеданса антенны, по всей видимости, из-за использования более точной модели возбуждения. Поэтому при использовании проводной сетки в дальнейшем целесообразно разработать модель возбуждения, позволяющую повысить точности расчетов входного импеданса антенн.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2022-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Balanis C.A. Advanced engineering electromagnetics, 2nd ed. – NY: John Wiley & Sons, 2012. – 1040 p.
2. Makarov S.N. Antenna and EM modeling with MATLAB. – NY: John Wiley & Sons, 2002. – 288 p.
3. Harrington R. F. Matrix methods for field problems // Proceedings of the IEEE. – 1967. – V. 55., №. 2. – P. 136-149.
4. Newman E., Pozar D. Considerations for efficient wire/surface modeling // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1980. – V. 28., №. 1. – P. 121-125.
5. Ferguson T.R. Efficient solution of large moments problems: wire grid modeling criteria and conversion to surface currents // The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES). – 1988. – P. 55-81.
6. Alhaj Hasan A. et al. On Wire-Grid Representation for Modeling Symmetrical Antenna Elements // Symmetry. – 2022. – V. 14., №. 7. – P. 1354.
7. Квасников А.А. и др. Система компьютерного моделирования антенн методом моментов // Системы управления, связи и безопасности. – 2022. – №. 1. – С. 49-66.

УДК 004.934.2

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ЗВУКОВЫХ ФАЙЛОВ НА МИНИМАЛЬНЫЕ ФОНЕТИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ

И.А. Кривошеин

Научный руководитель: Д.И. Новохрестова

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: 748_kia@fb.tusur.ru

AUTOMATED SEGMENTATION OF AUDIO FILES INTO MINIMAL PHONETIC UNITS

I.A. Krivoshein

Scientific Supervisor: D.I. Novokhrestova

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: 748_kia@fb.tusur.ru

Abstract. *The application of an algorithm based on wavelet decomposition for automated segmentation of human speech into minimal speech units (phonemes) is considered. The algorithm is tested on sound recordings with undistorted speech as well as on speech recordings modified after surgical intervention into the articulation apparatus. The dependence of the algorithm's performance quality on specific phonemes of the Russian language, as well as their location in a syllable, is considered. The results obtained indicate that, despite some advantages over its predecessor, the algorithm needs to be improved. It is proposed to combine several segmentation methods in the future.*

Введение. В процессе голосовой реабилитации после лечения заболеваний органов речеобразующего тракта используется оценка качества речи. Примером таких заболеваний являются онкологические заболевания органов речеобразующего аппарата. За 2020 год зарегистрировано более 20 000 случаев злокачественных новообразований такой локализации, при этом среднегодовой прирост составляет более 2.5% [1, 2]. После лечения, которое преимущественно заключается в хирургическом вмешательстве в орган, возникает необходимость в прохождении речевой реабилитации. Для этого этапа предложены программные средства автоматизации оценки качества речи пациентов [3]. В рамках программных средств могут быть использованы алгоритмы сегментации речи на минимальные речевые единицы с целью сравнения произношения наиболее «проблемных» фонем перед проведением операционного вмешательства и после [4].

Экспериментальная часть. Необходимость использования нового алгоритма сегментации для системы автоматизации оценки качества речи [3] следует из анализа результатов работы ранее примененного алгоритма на основе нахождения численного аналога полной вариации [4]. Так, представленный алгоритм в большинстве случаев не проставлял границы между двумя идущими подряд согласными, а также не выделял границы до фонем [к]/[к`], [т]/[т`], расположенных в конце слога. Кроме этого, алгоритм не тестировался на записях «искаженной» речи, полученных в процессе реабилитации пациентов после хирургического вмешательства.

Тестирование работы реализованного алгоритма проводится на двух наборах данных из 90 отдельных звуковых записей в формате «.wav», каждая из которых содержит определенный слог. Первый набор данных содержит звуковые записи с неискаженной речью, второй – с речью в период реабилитации после хирургического вмешательства. Структура наборов данных идентична, содержит 15 слогов для каждой «проблемной» фонемы: [к], [к'], [с], [с'], [т], [т'] соответственно. При этом каждая из фонем встречается в первых пяти слогах в начале слога, в последующих пяти – в середине, в заключительных – в конце.

С учетом предпочтения к высокой скорости работы алгоритма в системе автоматизации оценки качества речи, а также количества и структуры звуковых записей из наборов данных для тестирования, было принято решение о реализации алгоритма на основе метода анализа спектральных характеристик сигнала с использованием декомпозиции сигнала мультимасштабным вейвлет-преобразованием Даубеши [5]. В основе алгоритма лежит утверждение о том, что речевой сигнал может быть представлен линейной комбинацией вейвлет-функции на различных уровнях декомпозиции и функции масштабирования на наибольшем масштабе [6].

Алгоритм был реализован на языке среды программирования MATLAB с использованием набора инструментов Wavelet Toolbox [7]. Алгоритм состоит из этапов нормализации сигнала и удаления шума, разбиения сигнала на фреймы, применения вейвлет-преобразования для деления фреймов на 6 уровней декомпозиции, поиска межфонемных переходов на основе дифференцирования скорости изменения энергии сигнала и постобработки с целью фильтрации границ с учетом минимальной длительности фонемы в 30 миллисекунд [5].

Пример работы алгоритма для слога КАСЬ («кас'») представлен на рисунке 1. На оси абсцисс представлено время звуковой записи в секундах, на оси ординат расположены нормализованные данные звукового сигнала. В примере красные границы были проставлены на основе сегментации вручную, серые – в автоматическом режиме.

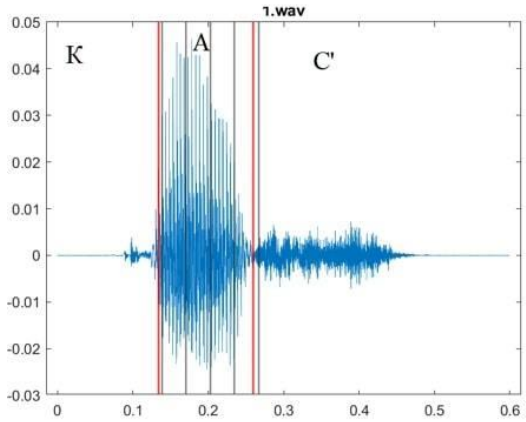


Рис. 1. Пример работы алгоритма для слога «кас'»

Результаты. Было проведено измерение времени работы алгоритма. Оно составило 20,756 секунд для 90 звуковых файлов, что соответствует 0,23 секундам на файл. Полученные данные свидетельствуют о применимости алгоритма в системе оценки качества речи по критерию высокой скорости сегментации.

Было проведено исследование точности автоматического проставления границ. Для неискаженной речи с максимальным отклонением от ручных границ равным 10 мс она составила 43.3 % для

проблемных фонем, расположенных в начале слога, и 33.3 % для таких фонем, расположенных в конце. При пределе отклонения 15 мс точность составила 76.6 % и 46.6 % соответственно. Для искаженной речи те же измерения показали 30 % и 60 % в пределах 10 мс, 56.6 % и 93.3 % в пределах 15 мс.

Схожие результаты для неискаженной и искаженной речи получены при [к] в середине, [к'] в начале, [т] в середине, [т'] в начале, середине и конце. Количество лишних границ в случае с искаженной речью составляет 88, неискаженной – 70. Для гласной фонемы [а] алгоритм выделил границы неверно во всех 28 случаях, для звонкой согласной [л] алгоритм выделил границы верно только в 1 из 10 случаев.

Заключение. Предложенный алгоритм был реализован, протестирован на звуковых записях с неискаженной речью, а также на записях речи, измененной после проведения хирургического вмешательства в артикуляционный аппарат. Несмотря на улучшение результатов проставления границ, в существенной доработке нуждаются как структура самого алгоритма, так и проработка требований для записываемых слогов и аудиозаписей. Для наиболее корректной работы алгоритма рекомендуется его применение на слогах со структурой «согласная-гласная-согласная». Предлагается комбинирование нескольких алгоритмов сегментации для повышения эффективности выделения фонем, к примеру, добавление сегментации на вокализованные и невокализованные участки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Злокачественные новообразования в России в 2020 году (заболеваемость и смертность) // Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, – 2021. – илл. – 252 с.
2. Состояние онкологической помощи населению России в 2020 году // Под ред. А.Д. Каприна, В.В Старинского, А.О. Шахзадовой – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, – 2021. – илл. – 239 с.
3. Новохрестова Д.И., Костюченко Е.Ю., Катаева Е.С., Буймов А.Г., Буинцев Д.Н. Программный комплекс по оценке разборчивости речи // Доклады ТУСУР. – 2019. – Т. 22., № 3. – С. 43-48.
4. Харченко С.С., Новохрестова Д.И., Костюченко Е.Ю. Проблема сегментации на фонемы при оценке качества произнесения слогов в рамках речевой реабилитации // Электронные средства и системы управления: Материалы докладов международной научно-практической конференции. – 2018. – № 1-1. – С. 223-226.
5. Smirnov V.M., Filatov V.M. Application of Wavelet Transform for Speech Signal Segmentation // 2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). –2019. – P. 1-4. DOI: 10.1109/WECONF.2019.8840115
6. Желтов П.В., Семенов В.И. Вейвлет-преобразование акустического сигнала. – Казань: КГТУ им. А.И. Туполева, 2008. – 102 с.
7. Набор инструментов Wavelet Toolbox для среды программирования MATLAB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.mathworks.com/products/wavelet.html (дата обращения: 15.12.2022).

УДК 004.522, 004.934.8'1, 004.934.2, 004.032.26

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ АЛКОГОЛЬНОГО ОПЬЯНЕНИЯ НА ОСНОВЕ УСТНОЙ РЕЧИ ЧЕЛОВЕКА И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

П.Ю. Лаптев, С.А. Литовкин

Научный руководитель: к.т.н., Е.Ю. Костюченко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: pavel.laptev.87@gmail.com

DETERMINING THE STATE OF ALCOHOL INTOXICATION BASED ON HUMAN SPEECH AND NEURAL NETWORKS

P.Y. Laptev, S.A. Litovkin

Scientific Supervisor: PhD. E.U. Kostyuchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: pavel.laptev.87@gmail.com

Abstract. *This paper describes the process of collecting a data set for the problem of determining the state of alcohol intoxication, as well as building an analyzer based on a convolutional neural network VGG 16. The result of the work was the created dataset containing 1700 audio recordings in a sober state and in a state of intoxication, as well as a trained analyzer, the error of which is 0.0009 and 0.0005 according to MSE on two states.*

Введение. Проект направлен на изучение способов анализа устной речи человека с помощью нейронных сетей, для определения состояния алкогольного опьянения.

Экспериментальная часть. В качестве данных для анализа используются аудио записи испытуемых в двух состояниях (трезвом состоянии и состоянии алкогольного опьянения), которые содержат прочтения 20 скороговорок – 10 нацеленных на произношение гласных звуков и 10 на произношение сонорных звуков. Такой выбор материала для записи обоснован высокой эффективностью использования скороговорок для анализа психоэмоционального человека, а также сильным влиянием опьянения на произношение выше описанных звуков [1, 2]. В качестве нижнего порога во время употребления алкоголя было решено выбрать 1,7‰, поскольку изменение речи, распознаваемое человеческим ухом, происходит при опьянении выше 1,5‰ [3].

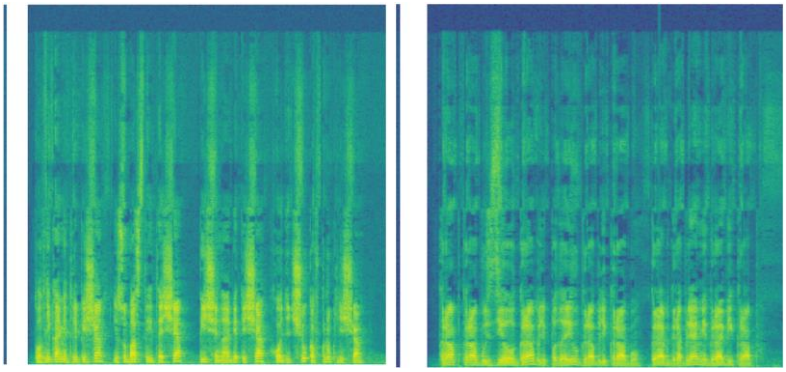
Всего было собрано 340 аудио записей – 200 в трезвом состоянии и 140 в состоянии алкогольного опьянения. Поскольку количество записей является малым для наиболее качественного анализа и обучения, было решено использовать методы аугментации для расширения собранного набора данных. Так записи были ускорены и замедленны в 1,05, 1,1 и 0,9, 0,95 раз соответственно, что позволило увеличит набор данных в 5 раз – 1700 записей всего, 1000 записей в трезвом состоянии и 700 записей в состоянии алкогольного опьянения. Также такие величины для ускорения и замедления позволили уменьшить влияние аугментации на качественные признаки набора данных, которые показаны в таблице 1.

Таблица 1

Качественные параметры набора данных

Количество записей	Диапазон длительности, с	Средняя длительность, с	Среднеквадратичное отклонение от средней длительности	Отклонение длительности пьяной речи от трезвой
Изначальный набор данных				
Трезвое состояние (Sober)				
200	2 – 8	3,8	1,77	-
В состоянии алкогольного опьянения (Drunk)				
140	2 – 15	4,87	4,51	2,74
Расширенный набор данных (Sober)				
Трезвое состояние				
1000	1 – 9	3,85	1,79	-
В состоянии алкогольного опьянения (Drunk)				
700	1 – 16	4,83	4,52	2,76

После сбора набора данных был построен первичный анализатор на основе свёрточной нейронной сети VGG16 и изначального набора данных. Поскольку на вход нейронной сети требуется изображение, было решено в качестве признаков опьянения использовать спектрограммы аудио записей, размером 256×256 пикселей. На рисунке 1 представлены спектрограммы записи одного человека и одной скороговорки, различающиеся только состоянием человека. Как можно видеть из спектрограмм, имеется значительная разница спектрограмм, для установления состояния алкогольного опьянения.



а) *б)*

Рис. 1. Сравнение спектрограмм в двух состояниях:
а) трезвое состояние (Sober); б) состояние алкогольного опьянения (Drunk)

Обучение нейронной сети происходило на протяжении 200 эпох со следующими параметрами: размер батча равен 5, в качестве оптимизатора выбран Adagrad со скоростью обучения 10^{-3}, а в качестве функции потерь – среднеквадратичная ошибка (MSE).

На рисунках 2 и 3 представлены графики изменения точности и функции потерь во время обучения.

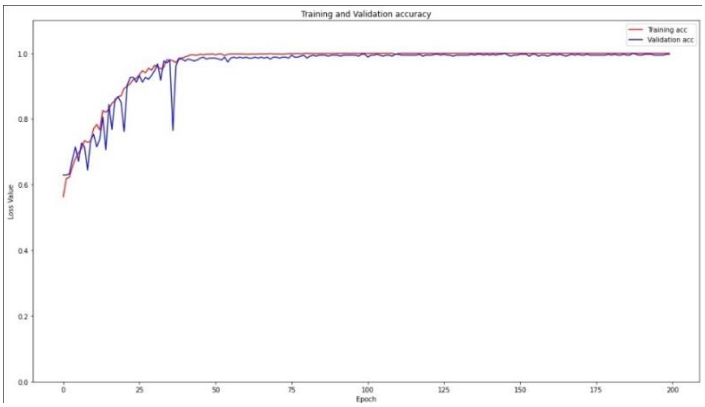


Рис. 2. Изменение точности при обучении

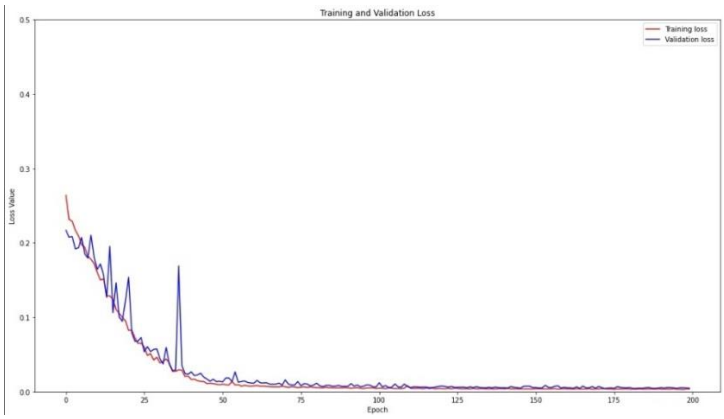


Рис. 3. Изменение функции потерь при обучении

При этом среднеквадратичная ошибка определения правильного состояния составляет 0,0009 и 0,0005 для трезвого и пьяного состояния соответственно, а статистика определения состояний показывает близкую к идеальной точности.

Заключение. В ходе проведенного исследования, был собран и проанализирован набор данных устной речи, для задачи определения состояния алкогольного опьянения, а также был построен первичных анализатор на основе свёрточной сети VGG16, точность которого составила 99,7 %.

Дальнейшая работа будет направлена на изучение и реализации других вариаций анализаторов, для поиска оптимального метода определения состояния алкогольного опьянения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pisoni D.B., Martin C.S. Effects of alcohol on the acoustic-phonetic properties of speech: perceptual and acoustic analyses // Alcoholism: Clinical and Experimental Research. – 1989. – V. 13., №. 4. – P. 577-587.
2. Johnson K., Pisoni D.B., Bernacki R.H. Do voice recordings reveal whether a person is intoxicated? A case study // Phonetica. – 1990. – V. 47., №. 3-4. – P. 215-237.
3. Sigmund M., Zelinka P. Analysis of voiced speech excitation due to alcohol intoxication // Information Technology and Control. – 2011. – V. 40., №. 2. – P. 143-150.

УДК 004.852

МЕТОДЫ ВЕРИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО РУКОПИСНЫМ ДАННЫМ

И.С. Лошак, Д.В. Боробов, С.А. Первышин
Научный руководитель: доцент, к.т.н. Е.Ю. Костюченко
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: ivanlosh12345@yandex.ru

METHODS OF USER VERIFICATION BASED ON HANDWRITTEN DATA

I.S. Loshak, D.V. Borobov, S.A. Pervishin
Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. E.Yu. Kostyuchenko
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: ivanlosh12345@yandex.ru

Abstract. *In this study, we compared various classifiers available in the matlab environment to solve the problem of user verification based on handwritten data.*

Введение. Болезнь Паркинсона – сложное нейродегенеративное неврологическое заболевание. Диагностика организма человека на наличие дорогостояща и требует значительное время [1-4]. Диагноз может быть подтвержден только патологоанатомическим анализом при вскрытии; это еще больше подчеркивает сложность диагностики. Инструменты поддержки принятия решений для точной диагностики были бы полезны для ранней диагностики и разработки стратегий лечения пациентов с болезнью Паркинсона. Выявление биомаркеров является важной целью исследований нейродегенеративных заболеваний.

Новизна проекта заключается в новых алгоритмах построения моделей аутентификации и диагностики нейродегенеративных заболеваний.

Экспериментальная часть. У каждого соавтора был свой набор рукописных данных, представленных в виде сигналов: PaHaW, NewHandPD, ParkinsonHW [5]. Данные отличались методикой и технологией извлечения. По определенным научным руководителем признакам были сформированы таблицы данных. Таблица данных для набора данных PaHaW содержала 72 строк и 45 столбцов. Таблица данных для набора данных NewHandPD содержала 260 строк и 55 столбцов. Таблица данных для набора данных ParkinsonHW содержала 72 строк и 45 столбцов. Каждая строка соответствует одному испытуемому человеку. Каждый столбец отвечает за признак, реализованный на начальных этапах работы. Последний столбец содержит информацию о принадлежности к классу: 0 – отрицательный результат, человек здоров; 1 – результат положительный, человек болен. Далее по каждой таблице были созданы модели данных для классификаторов, путем попарной конкатенации строк по признакам, и в последнем столбце записывались данные о соответствии одному и тому же классу у испытуемых: 1 – соответствуют одному классу, 0 – не соответствуют одному классу. Таким образом были получены модели данных для классификаторов, размерностью 5184 строк на 91 столбцов для набора данных PaHaW, размерностью 67600 строк на 109 столбцов для набора данных NewHandPD, размерностью

5184 строк на 91 столбцов для набора данных ParkinsonPD. Сформированные модели данных подавались в три классификатора: метод ближайших соседей, дерево решений, метод опорных векторов, пройдя кросс-валидацию, которая разбивала данные на тестовую и обучающуюся выборки в соотношении 20 на 80 процентов соответственно. На текущем этапе количество рассматриваемых классификаторов увеличилось, были добавлены: дискриминантный анализ, наивный байесовский классификатор, ансамбль методов, обобщенная аддитивная модель.

Результаты. Сравнительные таблицы для разных моделей данных представлены ниже.

Таблица 1

Сравнительная таблица классификаторов набора PaHaW

	Accuracy	*Precision*	*Recall*	*F*
Деревья решений	0,4843	0,448	0,1964	0,2731
Метод опорных векторов	0,545	0,5639	0,3419	0,4257
Метод ближайших соседей	0,6307	0,6281	0,6331	0,6305
Дискриминантный анализ	0,3806	0,3543	0,3141	0,333
Наивный байесовский классификатор	0,4843	0,4863	0,8449	0,8449
Ансамбль методов	0,8337	0,8449	0,8412	0,833
Обобщенная аддитивная модель	0,3943	0,3758	0,3452	0,3599

Таблица 2

Сравнительная таблица классификаторов набора NewHandPD

	Accuracy	*Precision*	*Recall*	*F*
Деревья решений	0,7417	0,7410	0,7478	0,7444
Метод опорных векторов	0,503	0,5030	1	0,6693
Метод ближайших соседей	0,8708	0,8751	0,8668	0,8709
Дискриминантный анализ	0,5513	0,5507	0,5859	0,5677
Наивный байесовский классификатор	0,5469	0,5635	0,4396	0,4939
Ансамбль методов	0,9861	0,9872	0,9851	0,9862
Обобщенная аддитивная модель	0,8717	0,8743	0,8701	0,8722

Таблица 3

Сравнительная таблица классификаторов набора ParkinsonHW

	Accuracy	*Precision*	*Recall*	*F*
Деревья решений	0.9971	0,9971	0,9986	0,9979
Метод опорных векторов	0,3689	0,6047	0,2232	0,3260
Метод ближайших соседей	0,7896	0,8526	0,8367	0,8445
Дискриминантный анализ	0,8767	0,8773	0,9527	0,9135
Наивный байесовский классификатор	0,5744	0,8683	0,4441	0,5877
Ансамбль методов	0,9892	0,9957	0,9886	0,9921
Обобщенная аддитивная модель	0,9980	0,9986	0,9986	0,9986

Заключение. Результаты сравнительных измерений выделили ансамбль методов, как самый достоверно предсказывающий классификатор, однако этот классификатор был выбран в ознакомительных целях и в дальнейшем будет рассматриваться отдельно. На следующих этапах работы

количество сравниваемых классификаторов будет увеличено, также будут добавлены методы предсказаний, основанные на нейронных сетях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Classification // Support MatLab [Electronic resource] – Access mode: https://www.mathworks.com /help/stats/classification.html (дата обращения: 10.03.2023).
2. Болезнь Паркинсона // «НМИЦ ТПМ» Минздрава России [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://gnicpm.ru/wp-content/uploads/2021/07/bolezn-parkinsona.pdf (дата обращения: 10.03.2023).
3. Pereira C.R. [and others] Deep Learning-aided Parkinson's Disease Diagnosis from Handwritten Dynamics // 29th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI). – 2016. – P. 1–7.
4. Peter Drotár [и др] Evaluation of handwriting kinematics and pressure for differential diagnosis of Parkinson's disease // Artificial intelligence in medicine. – 2016. – P. 39–46.
5. Muhammed E.I., Betul E.S. Improved Spiral Test Using Digitized Graphics Tablet for Monitoring Parkinson's Disease: The 2nd International Conference on E-Health and TeleMedicine – ICEHTM, 2014. – P. 171–175.

УДК 004.67

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА СЕЛЕКЦИИ ИМПУЛЬСОВ НА БАЗЕ ПЛИС: ТЕОРИЯ

И.К. Манохин

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.И. Солдатов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: manohasss@mail.ru

DEVELOPMENT OF A PULSE SELECTION DEVICE BASED ON FPGA: THEORY

I.K. Manokhin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.I. Soldatov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: manohasss@mail.ru

Abstract. *In the present work, the analysis of some analog pulse selection devices is performed. The main problems of such nodes are indicated and an improved version of the pulse selection device built on the basis of FPGA is proposed.*

Введение. Селекция импульсов используется в системах радиолокации и радиопеленгации для выделения из множества импульсов, присутствующих в эфире, тех, которые обладают заданными параметрами. Ниже будет рассмотрено несколько известных реализаций цепей селекции импульсов.

Экспериментальная часть. Рассмотрим аналоговый способ селекции импульсов по длительности. Один из вариантов функциональной схемы селектора длительности (СД) изображен на рис. 1. Эпюры к данной схеме приведены на рис. 2. Модуль селекции на основе СД изображен на рис. 3. Входная последовательность импульсов поступает на вход СД. СД пропускает на выход только импульсы с длительностью, определяемой селекцией [1]. Импульсы с выхода СД поступают на вход формирующего устройства (ФУ). ФУ генерирует стандартный импульс с длительностью, заданной селекцией. Импульс с выхода ФУ открывает каскад совпадения (КС), пропуская на выход устройства исходный, задержанный линией задержки (ЛЗ) импульс, прошедший селекцию. ЛЗ задерживает входной импульс на время задержки формирующего устройства. Такая схема осуществляет селекцию импульсов по длительности без искажения формы входных импульсов. В том случае, если сохранение исходной формы импульсов не требуется, схема может состоять только из селектора длительности и формирующего устройства.

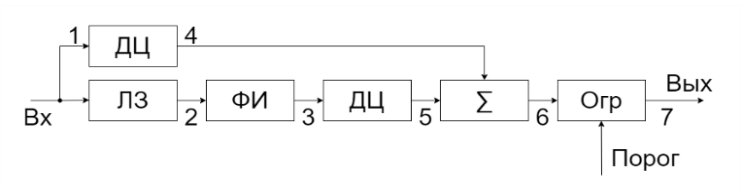


Рис. 1. Структурная схема аналогового селектора по длительности

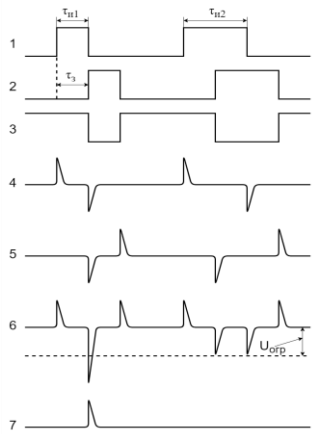


Рис. 2. Эпюры аналогового селектора по длительности

Рис. 3. Аналоговый модуль селекции по длительности с сохранением формы исходного импульса

Рассмотрим аналоговый способ селекции импульсов по амплитуде. Один из способов реализации аналоговой селекции по амплитуде основан на ограничителе снизу. На рис. 4.а изображена характеристика этого модуля, а на рис. 4.б входной сигнал и 4.в выходной сигнал. Используя ограничитель снизу отдельно можно выбирать из последовательности импульсов те, чья амплитуда выше порогового значения [2]. Чтобы выбирать те импульсы, чья амплитуда ниже порогового значения, нужно помимо ограничителя снизу использовать схему запрещения (рис. 5.а). Чтобы выбирать импульсы, чья амплитуда лежит в определенных пределах, можно использовать схему на рис. 5.б [3].

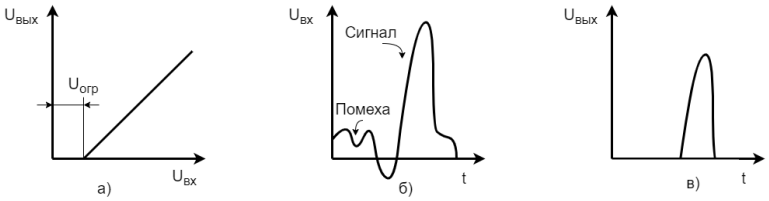


Рис. 4. Характеристики аналогового амплитудного ограничителя снизу: а) передаточная функция ограничителя снизу; б) входной сигнал; в) выходной сигнал

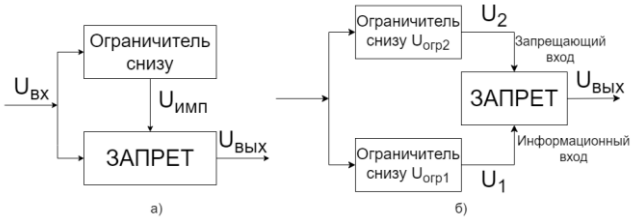


Рис. 5. Структурные схемы амплитудных селекторов: а) ограничитель сверху; б) ограничитель сверху и снизу

Результаты. Приведенные выше методы селекции импульсов использовались ранее в аналоговых системах радиолокации и радиопеленгации. У этих устройств есть значительные недостатки:

1. Цепь селекции выделяет импульсы только по одному параметру;
2. Устаревшая элементная база, рассредоточенные функции, малая интеграция;
3. Нет возможности корректировки параметров селекции без изменения схемы;
4. Отсутствие возможности гибкой настройки параметров селекции

Для современных систем радиолокации и радиопеленгации, в которых обработка осуществляется цифровыми узлами, требуются иные алгоритмы, реализованные на современной цифровой элементной базе (ПЛИС, микропроцессоры). Также, обработка информации в цифровом виде позволяет избежать недостатков, присущих аналоговым селекторам импульсов. Так, на базе одной микросхемы можно выполнить устройство селекции, выделяющее импульсы не по одному, а по множеству параметров одновременно. Также численное значение отдельного параметра селекции может быть разбито на множество областей. Также большим преимуществом является возможность программного изменения границ параметров устройства селекции. На рис. 6 изображен фрагмент структурной схемы тракта цифровой обработки систем радиолокации и радиопеленгации с устройством селекции импульсов на базе ПЛИС.

Рис. 6. Фрагмент структурной схемы тракта цифровой обработки систем радиолокации и радиопелнгации на базе ПЛИС

Заключение. В статье был изложен базовый теоретический материал о построении устройства селекции импульсов для систем радиолокации и радиопеленгации на базе ПЛИС. Приведен сравнительный анализ аналогового и цифрового исполнения устройства селекции импульсов. В следующих публикациях будет рассмотрена практическая сторона создания модуля селекции: алгоритм работы модуля селекции, моделирование, синтез и результаты работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакин С.А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. – М.: Советское радио, 1986. – 448 с.
2. Карпентье М. Современная теория радиолокации. – М.: Советское радио, 1965. – 216 с.
3. Сколник М. Введение в технику радиолокационных систем. – М.: Мир, 1965. – 748 с.

УДК 629.056.8

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ ОТСУТСТВИЯ СИГНАЛОВ ГНСС

Г.В. Матвейкин, С.И. Балакин, А.Е. Францишко
Военная академия связи,
Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр. д. 3, 194064
E-mail: matveykingv@gmail.com

EVALUATION OF THE ACCURACY OF NEURAL NETWORK ALGORITHMS USED TO DETERMINE THE NAVIGATION PARAMETERS OF MOBILE OBJECTS WITH AN INERTIAL NAVIGATION SYSTEM IN THE ABSENCE OF GNSS SIGNALS

G.V. Matveykin, S.I. Balakin, A.E., Francishko
Military Academy of Communications, Russia, Sankt-Petersburg, Tihorezkii str., 3, 194064
E-mail: matveykingv@gmail.com

Abstract. *In the article proposes the use of neural network to clarify the parameters of inertial navigation systems.*

Введение. В современных подвижных объектах для определения местоположения используются сигналы глобальных навигационных систем (GPS/ГЛОНАСС) и инерциальные навигационные системы, которые обеспечивают определение местоположения и ориентацию объекта в пространстве без использования внешнего опорного сигнала (в автономном режиме). В нормальных условиях эти системы работают совместно и обеспечивают точное определение координат объекта путем комплексирования данных от разных источников [1].

В случае отсутствия сигналов глобальной навигационной системы подвижный объект переходит в автономный режим, а инерциальная навигационная система определяет местоположение путем обработки данных от гироскопа, акселерометра и магнитометра [2]. При этом, чем дольше используется инерциальная навигационная система, тем больше возрастает ошибка определения координат подвижного объекта, что приводит к существенному отклонению от целевой траектории может составить до 120 метров на 10 км [3]. Для устранения этой проблемы данные классической инерциальной навигационной системы предлагается уточнять путем обработки данных с помощью нейронной сети. Это позволит в момент внезапного исчезновения сигнала глобальной навигационной системы для определения местоположения с помощью алгоритма нейронной сети, осуществить уточнение и прогнозирование позиции подвижного объекта в пространстве [4].

Однако применение нейронных сетей имеет ряд ограничений, связанных с недостаточно точным подбором входных данных, что может привести к дополнительной ошибке определения местоположения. Для этого в статье предлагается сравнить два алгоритма: ELM-Kalman и Wann-RNN Madgwick и выбрать наилучший с помощью имитационного моделирования.

Экспериментальная часть. Моделирование производилось на имитационной модели, построенной в программной среде Matlab Simulink и обеспечивающей имитацию работы инерциальной навигационной системы совместно с обученной нейронной сетью. В модели учитывается потеря сигнала позиционирования подвижного объекта не менее 300 сек. Во время эксперимента для обеспечения корректного снятия замеров гироскопа (ускорение, угловой скорости) используется датчик инерциальной навигационной системы MEMS MPU-9250. При этом частота дискретизации 16-битного АЦП программно изменялась от 3.9 до 8000 выборок в секунду.

На следующем этапе происходит процесс компенсации воздействия вибрации чувствительных элементов датчика в диапазоне (20-25 Гц) с помощью встроенного фильтра низких частот. Затем производится процесс расчета ориентации подвижного объекта в автономном режиме за счет обработки данных ускорения и данных магнитного поля. Для этого в работе использовался магнитометр, обеспечивающий определение курса с помощью ферромагнитного эффекта.

Результаты. В ходе моделирования производилась оценка точности навигационных параметров подвижных объектов двумя способами: первый – оценка точности определения навигационных данных на основе влияния количества нейронов скрытого слоя нейронной сети; второй – оценка точности определения навигационных данных в зависимости от скорости процесса обучения нейронной сети, связанной с количеством нейронов в скрытых слоях.

В первом способе сравнивался результат работы алгоритмов обработки входных параметров нейронной сети, а затем рассчитывалась разница между выходными значениями нейронной сети со значениями эталонной модели, которая определялась опорными навигационными параметрами, записанными заблаговременно. В результате первого эксперимента было выявлено, что для нейронной сети, состоящей из 500 нейронов в скрытом слое при использовании алгоритма ELM-Kalman точность определения навигационных параметров, составила 92 %, а при использовании алгоритма WANN-RNN Madgwick – 81 %. Результаты моделирования первого способа представлены на рисунке 1.

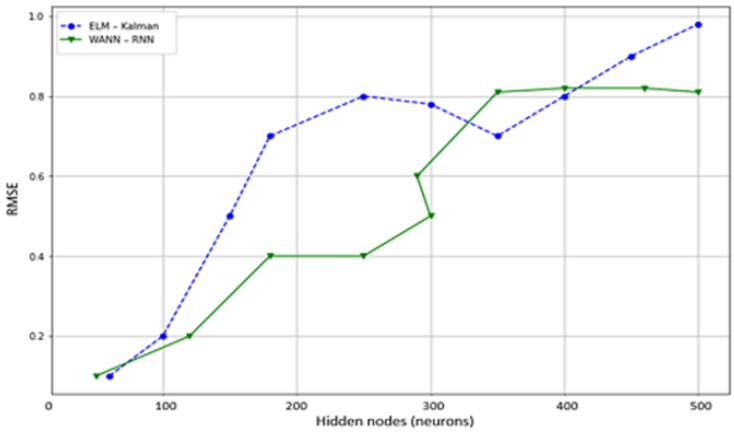


Рис. 1. График зависимости точности определения навигационных параметров от количества нейронов скрытого уровня

В ходе второго способа производилось тестирование обученной нейронной сети с помощью набора тестовых векторов, отличающихся от использованных в обучающей выборке. Это позволило определить закономерность изменения скорости обучения и точности определения навигационных параметров от количества нейронов скрытого уровня, которая представлена на рисунке 2.

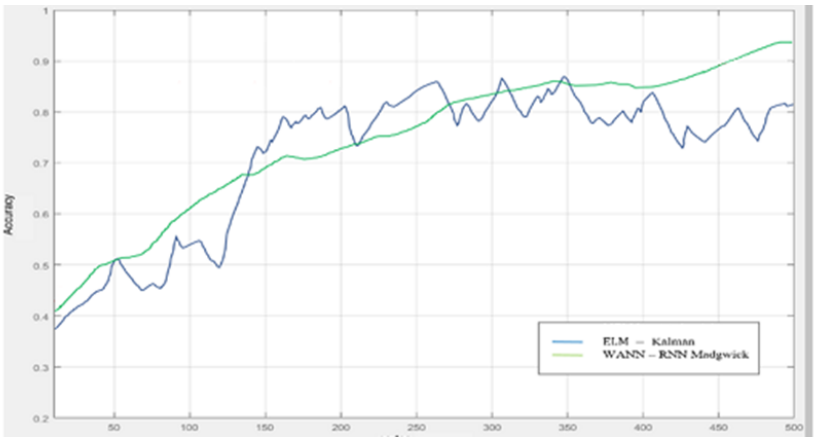


Рис. 2. График зависимости точности определения навигационных параметров от количества нейронов скрытого слоя и алгоритма нейронной сети

Таким образом, определение навигационных параметров на основе нейронной сети с алгоритмом ELM-Kalman было произведено за 0.8 $с^{-1}$ с точностью 80 %, а для нейронной сети с алгоритмом WANN-RNN Madgwick при той же скорости обучения точность составила 71 %.

Анализ результатов экспериментов показал, что нейронная сеть с алгоритмом ELM-Kalman показывает на 2.23 % более высокую точность определения навигационных параметров по сравнению с нейронной сетью на основе алгоритма WANN-RNN Madgwick.

Следует отметить, что точность обучения улучшалась с ростом количества нейронов скрытого слоя и сопровождалась ростом вычислительной нагрузки и времени обучения нейронной сети.

Заключение. В статье проведено моделирование инерциальной навигационной системы с нейронной сетью, построенной на основе алгоритмов ELM-Kalman или WANN-RNN Madgwick. В результате моделирования в условиях пропадания сигналов глобальной навигационной системы удалось уменьшить отклонение от целевой траектории подвижного объекта до 20 м на 10 км при использовании алгоритма ELM-Kalman и до 42 м на 10 км при использовании алгоритма WANN-RNN Madgwick.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fendy Santoso, Matt Garratt, Anavatti, S.G. (2017). State-of-the-art intelligent flight control systems in unmanned aerial vehicles. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 15, Iss. 2, pp. 1-15. doi.org/10.1109/TASE.2017.2651109.
2. Веремеенко, К.К., Красильщиков, М.Н., Сыпало К.А. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий. – М: Физматлит, 2008 – 280 с.
3. Xiaoji Niu, Sameh Nassar, Naser El-Sheimy (2007). An accurate land-vehicle MEMS IMU/GPS navigation system using 3D auxiliary velocity updates. Navigation - Journal of The Institute of Navigation, Vol. 54(3), pp.177-188. doi.org/10.1002/j.2161-4296.2007.tb00403.x.
4. Тихонов, В. А. Нейросетевая модель алгоритма бесплатформенной инерциальной навигационной систем // Аэрокосмические приборные технологии. Материалы. 3 Межд. Симпозиума. - СПб, 2004 - С. 47–50.

УДК 621.391.825

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУКТУРЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С ПРОВОДНИКАМИ НА ВНУТРЕННЕМ СЛОЕ С МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

С.Р. Морозов, А.В. Медведев

Научный руководитель: д.т.н. Т.Р. Газизов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: pred11072@yandex.ru

ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF A STRUCTURE WITH CONDUCTORS ON THE INNER LAYER OF PCB WITH MODAL RESERVATION

S.R. Morozov, A.V. Medvedev

Scientific supervisor: Dr. T.R. Gazizov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: pred11072@yandex.ru

Abstract. *The analysis of characteristics in time domain of a structure with conductors on the inner layer of PCB with modal reservation is performed. The dependences of the per-unit-length delay difference and the geometric mean impedance on the structure parameters were considered. Recommendations for changing the geometric parameters to maximize the difference in delays are proposed.*

Введение. При создании печатных плат (ПП) критичной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) большое внимание уделяется электромагнитной совместимости (ЭМС) и функциональной безопасности электронных схем [1]. Кардинальным методом повышения функциональной безопасности является резервирование. Холодное резервирование отличается от горячего тем, что при отказе резервируемой системы выполняется переключение на выключенную резервную систему. Однако, от воздействия систематических электромагнитных помех (ЭМП) резервирование не защищает, так как при отказе резервируемой системы из-за воздействия ЭМП откажет и резервная система.

Большую опасность представляют сверхкороткие импульсы (СКИ), которые несут большую энергию при маленькой длительности. Для предотвращения влияния СКИ используются технологии на основе модальной фильтрации (МФ) [2]. Модальное резервирование – это подход к компоновке и трассировке резервируемых проводников системы с холодным резервированием, при котором реализуется модальная фильтрация [3].

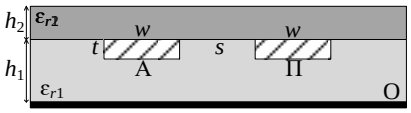
Существует ряд способов компоновке и трассировки проводников ПП с МР [4]. Их недостатком является сложность в трассировке проводников с большим количеством цепей электронной схемы. Разработан способ трассировки проводников на внешних и внутренних слоях многослойной ПП [5], который отличается наличием проводников на внешнем и внутреннем слоях ПП. Данный способ позволяет выполнять трассировку проводников электронных схем с большим количеством компонентов. Выполнено предварительное исследование данного способа с неоптимизированными параметрами [6]. В дальнейших исследованиях необходимо рассмотреть влияние параметров поперечного сечения

структур с проводниками на внешнем и внутреннем слоях ПП с МР для разработки рекомендаций по оптимизации параметров поперечного сечения.

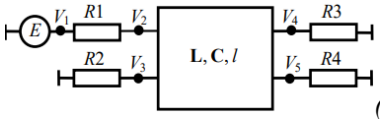
Цель работы – выполнить анализ характеристик структуры с проводниками на внутреннем слое четырехслойной ПП с МР.

Экспериментальная часть. На рис. 1*а* представлена модель поперечного сечения. Моделирование выполняется в системе TALGAT [7] без учета потерь в проводниках и диэлектриках. Параметры поперечного сечения: ширина сигнального проводника w=200 мкм, расстояние между проводниками s=200 мкм, толщина проводника t=18 мкм, толщина нижнего диэлектрического слоя h_1=200 мкм, толщина верхнего диэлектрического слоя h_2=200 мкм, диэлектрические проницаемости ε_{r1}=10,2 и ε_{r2}=4.

На рис. 1*б* представлена принципиальная электрическая схема, которая представляет собой двухпроводную структуру (длиной l=1м) с нагрузками на ближнем и дальних концах, с источником воздействия в активной линии. Значение импеданса нагрузок $R1$─$R4$ взято равным среднему геометрическому импедансов четной и нечетной мод (50 Ом), тогда как воздействие имеет следующие характеристики: форма импульса – трапециевидная, ЭДС 2 В, длительность фронта, спада и плоской вершины t_r=t_{fr}=t_d=100 пс.



(а)



(б)

Рис. 1. Модель структуры ПП с проводниками на внутреннем слое (а), где проводники А – активный, П – пассивный, О – опорный; принципиальная электрическая схема (б)

Результаты. На рис. 2 представлен формы сигналов на ближнем и дальнем концах при исходном наборе параметров. В дальнейшем все зависимости параметров рассмотрены относительно этого набора. На дальнем конце структуры наблюдаются два импульса разложения меньшей амплитуды, чем на ближнем конце, где разность задержек Δt=1 нс.

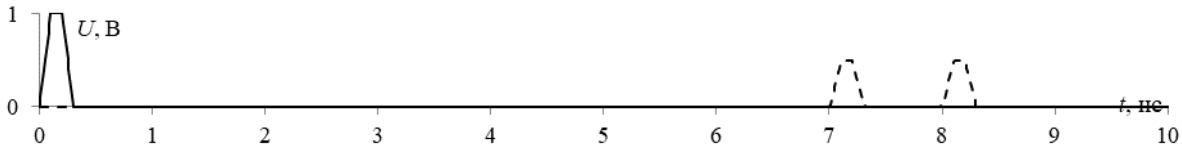


Рис. 2. Формы сигналов на ближнем (–) и дальнем (---) концах при исходном наборе параметров

На рис. 3 и 4 представлены зависимости разностей погонных задержек ($\Delta\tau$) и среднего геометрического импеданса (R) от геометрических параметров, которые изменяются по отдельности. Видно, что $\Delta\tau$ и R изменяются при изменении параметра h_2 в пределах ±300 пс/м и ±7 Ом, w – ±500 пс/м и ±43 Ом, s – ±1000 пс/м и ±5 Ом, h_1 – ±630 пс/м и ±50 Ом, t – ±285 пс и ±18 Ом. Следовательно, максимальное значение $\Delta\tau$ при изменении s достигается при его минимальном значении (1100 пс), а с увеличением s $\Delta\tau$ уменьшается почти до нуля. Это объясняется тем, что уменьшается связь между

проводниками. При этом R практически не изменяется. Изменение параметра h_2 не влияет на R, но $\Delta\tau$ можно увеличить примерно на 300 пс/м при h_2=300 мкм.

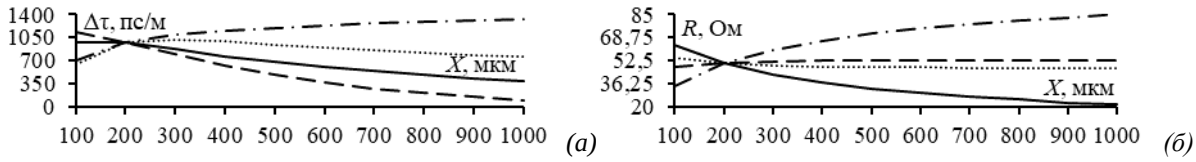


Рис. 3. Зависимости Δτ (а) и R (б) от X, где X равен: w (–), s (---), h_1(-·-·-), h_2(...)

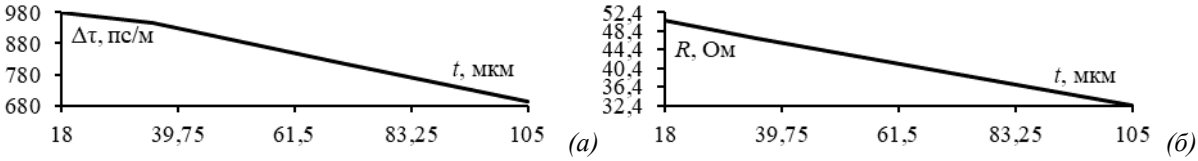


Рис. 4. Зависимости Δτ (а) и R (б) от t

Заключение. Выполнен анализ характеристик структуры с проводниками на внутреннем слое ПП с МР. Рассмотрены зависимости разности погонных задержек и среднего геометрического импеданса. Показано, что из всех рассматриваемых параметров наиболее сильно на Δτ влияют параметры w и h_1. Таким образом, для увеличения Δτ необходимо увеличивать h_1 и уменьшать w, t и s, а значение h_2 принять средним. Однако, при изменении геометрических параметров согласно рекомендациям, также сильно будет изменятся R. В случаях, когда необходим контроль импеданса, необходимо отслеживать изменения R.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р МЭК 61508-1─2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Общие требования [Текст]. – Взамен ГОСТ Р МЭК 61508-1─2007; введ. 2012-08-29. – М. : Стандартинформ, 2014 – 58 с.
2. Gazizov A.T., Zabolotsky A.M., Gazizov T.R. UWB pulse decomposition in simple printed structures // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – V.58., № 4. – P. 1136-1142.
3. Шарафутдинов В.Р., Газизов Т.Р. Анализ способов резервирования на основе модальной фильтрации. // Системы управления, связи и безопасности. – 2019 – № 3. – С.117-144.
4. Алхадж Хасан А., Газизов Т.Р. Обзор исследований по модальному резервированию // Доклады ТУСУР. – 2022. – Т. 25. №4. – С. 54-67.
5. Пат. 2752233 РФ. МПК H04B 15/02. Способ трассировки печатных проводников на двуслойной печатной плате для цепей с резервированием / А.В. Медведев, А. Алхадж Хасан, О.М. Кузнецова-Таджибаева, Т.Р. Газизов. Заявлено 06.07.2020; Опубл. 23.07.2021, Бюл. № 21 – 8 с.
6. Medvedev A.V. Interconnect Routing on Two Signal Layers of a Modal Reservation PCB: a Case Study // 2022 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – 2022. – P. 301-306.
7. Kuksenko S.P. Preliminary results of TUSUR University project for design of spacecraft power distribution network: EMC simulation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019 – V. 560 – P. 1-7.

УДК621.396.692/.694.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОДЛОЖКИ МИКРОПОЛОСКОВОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА НА ЕГО ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

М.С. Мурманский

Научный руководитель: к.т.н. Е.С. Жечев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, Томск, ул. Ленина 40, 634045

E-mail: mihailmurmanskii@gmail.com

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF RELATIVE DIELECTRIC PERMITTIVITY VARIATIONS IN MICROSTRIP BANDPASS FILTER SUBSTRATE ON ITS FREQUENCY RESPONSE

M.S. Murmasnky

Scientific Supervisor: PhD. Y.S. Zhechev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenina str., 40, 634045

E-mail: mihailmurmanskii@gmail.com

Abstract. *This paper presents the results of the design of a microstrip bandpass filter using the Microwave Office system. Additionally, the impact of relative permittivity on the frequency characteristics of the microstrip bandpass filter has been investigated.*

Введение. На сегодняшний день полосно-пропускающие фильтры (ППФ) являются неотъемлемой частью современных радиотехнических устройств, работающих в условиях высокого уровня шумов. Требования к таким устройствам, как правило, заключаются в следующем: простота изготовления, хорошие избирательные свойства, низка стоимость и миниатюрность. Технологическому процессу изготовления уделяется особое внимание, поскольку у классических микрополосковых фильтров могут измениться как геометрические параметры, так и параметры диэлектрика [1].

Цель данной работы – исследовать влияние изменения относительной диэлектрической проницаемости подложки микрополоскового полосно-пропускающего фильтра (ППФ) на его частотные характеристики.

Экспериментальная часть. Фильтры ППФ легко реализуются на микрополосковых линиях (МПЛ) для узких полос пропускания. При относительных полосах пропускания свыше 20 % зазоры между проводниками становятся очень малыми и трудновыполнимыми. Полосно-пропускающие фильтры на связанных полуволновых резонаторах имеют достаточно большие габариты. Уменьшение габаритов достигается за счет сворачивания каждого резонатора в меандр [2]. В качестве среды моделирования использовалась программа AWR Mircowave Office, был спроектирован микрополосковый ПФ 3 порядка [3]. На рисунке 1 представлена схема микрополоскового ППФ.

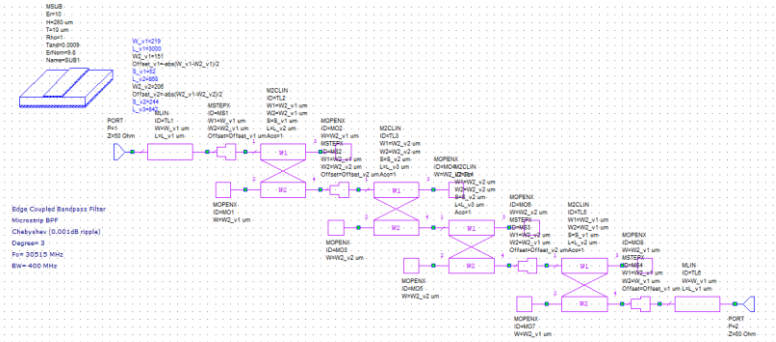


Рис. 1. Схематическое отображение ППФ на МПЛ

Поскольку фильтр необходимо настроить на определенную центральную частоту и на конкретную полосу пропускания применялась частотная оптимизация. Оптимизация проводилась по 2 частотным диапазонам. Первый диапазон обеспечивал стабильность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в пределах полосы пропускания (ПП). Вторым частотным диапазоном необходимо обеспечить подавление:11,135 ГГц > 30 дБ, 18 – 20ГГц > 30 дБ.

По итогам оптимизации проводилось маркетирование экспериментального образца на МПЛ и производилось измерение значений*S*-параметров.

Результаты. По результатам измерения получено, что у измеренного ППФ на МПЛ появилась неравномерность АЧХ в пределах ПП, образовалась нестабильность АЧХ в пределах ПП. Дополнительно к этому осуществился перенос центральной частоты ППФ на меньшую частоту. На рисунке 2показана АЧХ рассчитанного и измеренного МПЛ ППФ.

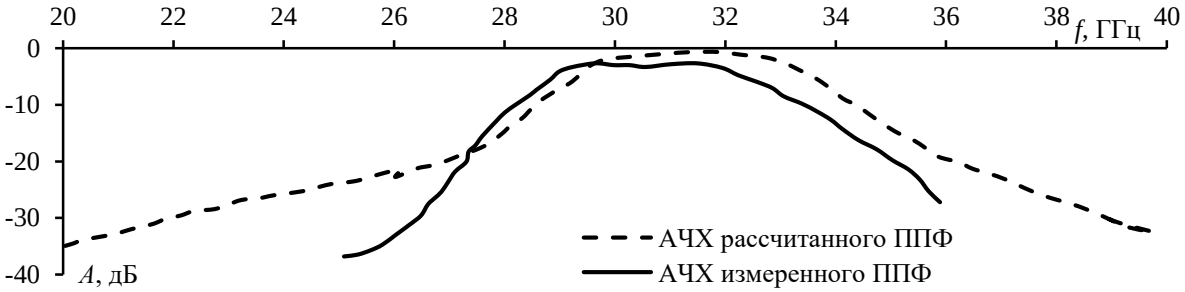


Рис. 2. АЧХ рассчитанного и измеренного МПЛ ППФ

Необходимо исследовать влияние относительной диэлектрической проницаемости на АЧХ микрополоскового ППФ. В [4] сказано, что, если материал композитный, например армированный слоистый диэлектрик, значение ε_r может значительно меняться в зависимости от долевого содержания каждой компоненты. И поэтому путем изменения значений относительной диэлектрической проницаемости необходимо было добиться, чтобы АЧХ смоделированного ППФ приблизилась по своим значениям к АЧХ экспериментальной модели. На рисунке 3 показан график изменения АЧХ с увеличением значений ε_r.

По итогам изменений ε_r было установлено, что увеличение ε_r приводит к сдвигу центральной частоты АЧХ на более низкую частоту с постоянным шагом в 200 МГц.

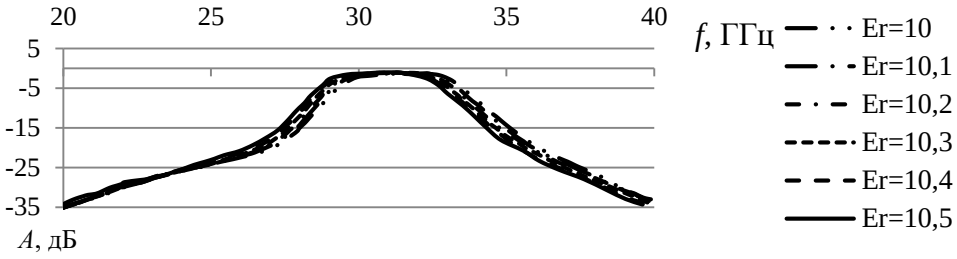


Рис. 3. График АЧХ рассчитанного МПЛ ППФ с изменением ε_r

Дополнительно к этому необходимо изучить, как повлияет *tg*δ на АЧХ. Повышение тангенса угла потерь привело к изменению АЧХ, такому как спад в уровне по центральной частоте и изменение полосы пропускания. В реальных условиях изменение тангенса угла диэлектрических потерь возможно только до 0,0002, соответственно расчет для *tg*δ = 0,01 можно не учитывать. На рисунке 4 показан график АЧХ с изменением *tg*δ

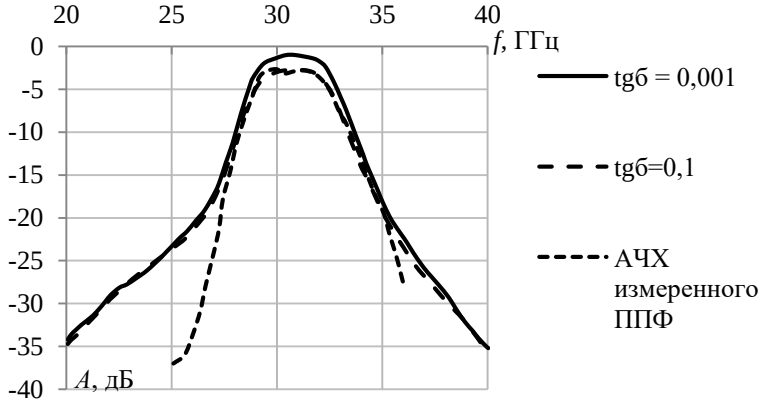


*Рис. 4. График АЧХ рассчитанного ППФ на МПЛ с изменением tg*δ

Заключение. В результате проведенных исследований получено, что у экспериментальной модели случился производственный «уплыв» ε_r, и произвелось *tg*δ изменение. По итогам исследования выявлено, что увеличение ε_r приводит к сдвигу АЧХ в частотном диапазоне в более низкие частоты. Дополнительно к этому исследовано, *tg*δ что влияет на такие параметры, как амплитуду АЧХ и приводит к сужению ПП.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2022-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савишников М.О., Дмитриев Д.Д., Кабанов Э.Д. Миниатюрный полосно-пропускающий СВЧ-фильтр со сверхглубоким уровнем подавления в широкой полосе заграждения // Журнал Сибирского федерального университета. Инженерия и технологии. – 2019 г. № 12(9). – С. 758-763.
2. Ковалев, С.И. Конструирование и расчет полосковых устройств – М.: Советское радио, 1974. – 118 с.
3. Дмитриев, Е.Е. Проектирование фильтров в MicrowaveOffice с помощью iFilter – М.: Учебно-методическое пособие, 2010. – 52 с.
4. ГОСТ IEC61188-1-2— 2013. Печатные платы и печатные узлы проектирование и применение часть 1-2. 2014 г. – 39 с.

УДК 537.533.9

ПАРАМЕТРЫ ПЛЕНОК ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ИСПАРЕНИИ АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ В КИСЛОРОДЕ

Л.Ж. Нгон, А Кики, К.И. Карпов

Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.А. Бурдовицин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: burdov@fet.tusur.ru

PARAMETERS OF ALUMINUM OXIDE FILMS OBTAINED BY EVAPORATION OF ALUMINUM OXIDE CERAMICS IN OXYGEN

L.J. Ngon, A Kiki, K.I. Karpov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.A. Burdovitsin

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: burdov@fet.tusur.ru

Abstract. *In this paper, a study of films obtained by evaporation of alumina ceramics in an atmosphere with different oxygen content is carried out. Capacitor structures were obtained, on the basis of which the tangent of the dielectric loss angle, dielectric permittivity and resistivity were measured. It was found that an increase in the oxygen content in the atmosphere can significantly improve the quality of the obtained dielectric films. It was shown that there is a range of the introduced technological parameter in which the specified influence is minimal.*

Введение. Необходимость получения пленочного оксида алюминия обуславливается его применением в микро и оптоэлектронике [1]. К настоящему времени разработано множество технологий для формирования диэлектрических пленок различного состава [2]. В частности, осаждение алюмооксидных пленок может быть выполнено с помощью электронно-лучевого испарения алюмооксидной керамики [3]. Испарение керамики в среде инертного газа или даже воздуха приводит к получению пленок с высокими значениями диэлектрической проницаемости (более 20) и тангенса угла потерь (более 0,1) [4]. Наиболее вероятная причина ухудшения диэлектрических свойств пленок состоит в наличии в них недоокисленного алюминия. В настоящей работе предлагается производить испарение алюмооксидной керамики в атмосфере кислорода с использованием форвакуумного электронного источников с плазменным катодом. Кроме этого, будет рассмотрено влияние содержания кислорода на свойства получаемых пленок.

Экспериментальная часть. Эксперименты проводились на установке схематично представленной на рис. 1. На вакуумной камере 1, изготовленной из нержавеющей стали, установлен форвакуумный источник электронов с плазменным катодом 2. Сфокусированный магнитной системой 3 непрерывный электронный пучок 4 попадал на мишень 5 из алюмооксидной керамики, расположенную в графитовом тигле 6. Испаренный материал осаждался на подложку, расположенную в подложкодержателе 7, прикрытым заслонкой 8. Определение электрических свойств покрытий осуществлялось на частоте 1 кГц с помощью конденсаторных структур на подложках из поликора.

Обкладки конденсаторов представляли собой алюминиевые дорожки шириной 1 мм, осажденные термическим испарением, которые располагались перпендикулярно относительно друг друга. Диапазон рабочего давления составлял 0,1 - 5 Па. В качестве рабочего газа использовался кислород.

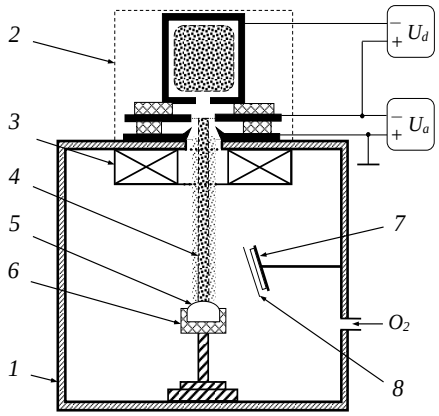


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Результаты. Нам представляется справедливым утверждение, что состав получаемой пленки зависит от соотношения между алюминием и кислородом на её поверхности в момент реакции. Поэтому в качестве технологического параметра было выбрано частное v_g/p_o скорости роста пленки v_g и давления кислорода p_o. На рис. 2 представлены удельное сопротивление ρ, тангенс $tg\delta$ угла диэлектрических потерь и диэлектрическая проницаемость ε пленок в зависимости от параметра v_g/p_o.

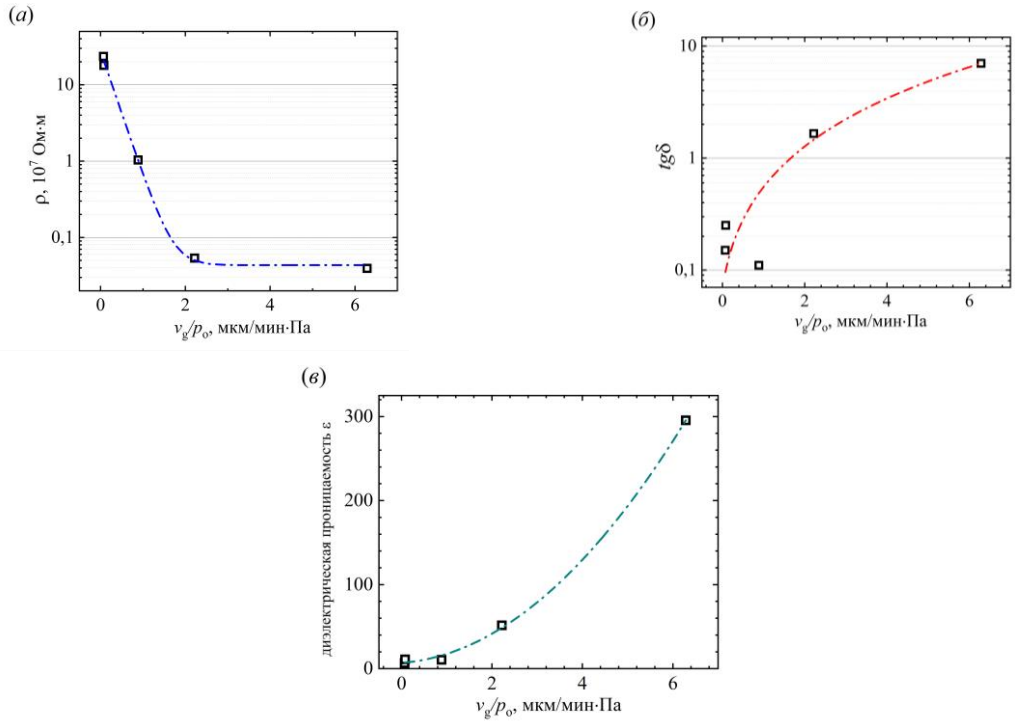


Рис. 2. Удельное сопротивление ρ (а), тангенс $tg\delta$ угла потерь (б) и диэлектрическая проницаемость ε пленок (в) как функция параметра v_g/p_o

Как можно заметить, с увеличением параметра v_g/p_o удельное сопротивление ρ имеет тенденцию к снижению. В то же время тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$ и диэлектрическая проницаемость ε полученных пленок монотонно возрастают с ростом v_g/p_o. В то же время, при значениях v_g/p_o меньше 0,5 мкм/мин·Па измеренные значения полученных пленок диэлектрической проницаемости не превосходят 15, что близко к соответствующему значению исходной керамики [5]. Однако удельное сопротивление пленок при малом v_g/p_o заметно ниже табличных значений и не превышает 10^8 Ом·м. Одна из возможных причин этого может состоять в особенностях морфологии поверхности пленок.

Ухудшение свойств получаемых пленок с ростом v_g/p_o вероятно связано с различным соотношением в них атомов алюминия и кислорода в сторону избытка металла. Из графика зависимости удельного сопротивления от содержания кислорода в составе атмосфере явственно следует, что при значениях v_g/p_o больше 2 мкм/мин·Па удельное сопротивление получаемых пленок практически постоянно. Указанное обстоятельство становится понятным, если учесть, что испарение Al_2O_3 приводит к появлению атомов как алюминия, так и кислорода.

Заключение. По результатам работы можно сформулировать следующий вывод. Испарение алюмооксидной керамики в атмосфере кислорода может значительно улучшить качество получаемых диэлектрических пленок. При этом предложен параметр v_g/p_o, представляющий собой частное от скорости роста пленки и давления кислорода, согласно которому возможно отслеживать технологию такого процесса. В частности, тангенс угла потерь и диэлектрическая проницамость монотонно растет, а удельное сопротивление падает по мере повышения параметра v_g/p_o. Указанное обстоятельство, по всей видимости, связано с соотношением атомов алюминия и кислорода в полученных диэлектрических пленках. В то же время изменение указанного параметра в диапазоне от 2 до 6 мкм/мин·Па не оказывает существенного влияния на удельное сопротивление получаемых пленок.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-29-00837).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abdel Haleem A.M. and Ichimura M. Electrochemical deposition of aluminum oxide thin films from aqueous baths // Materials Letters. – 2014. – V. 130. – P. 26-28.
2. Shamala K.S., Murthy L.C.S. and Narasimha Rao K. Studies on optical and dielectric properties of Al_2O_3 thin films prepared by electron beam evaporation and spray pyrolysis method // Materials Science and Engineering: B. – 2004. – V. 106. – P. 269-274.
3. Yushkov Yu.G., Oks E.M., Tyunkov A.V. and Zolotukhin D.B. Dielectric Coating Deposition Regimes during Electron-Beam Evaporation of Ceramics in the Fore-Vacuum Pressure Range // Coatings. – 2022. – V. 12., №130. – P. 11.
4. Бакеев И.Ю., Бурачевский Ю.А., Двилис Э.С., Золотухин Д Б., Юшков Ю.Г. Электрические свойства пленки алюмооксидной керамики на металле // Перспективные материалы. – 2021. – № 2. – С. 59-65.
5. Абызов А.М. Оксид алюминия и алюмооксидная керамика// Новые огнеупоры. – 2019. – №1. – С. 16-23.

УДК: 621.396

ОПТИМАЛЬНЫЕ РАЗРЕЖЕННЫЕ АНТЕННЫ С МИНИМАЛЬНЫМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ ЗАТРАТАМИ ПРИМОДЕЛИРОВАНИИ

М.Т. Нгуен, А. Алхадж Хасан
Научный руководитель: доцент, д.т.н. Т.Р. Газизов
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: nguyen.t.2213-2022@e.tusur.ru

OPTIMAL SPARSE ANTENNAS WITH MINIMAL COMPUTATIONAL COSTS IN SIMULATION

M.T. Nguyen, A. Alhaj Hasan
Scientific Supervisor: Ass. Prof., Dr. T.R. Gazizov
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: nguyen.t.2213-2022@e.tusur.ru

Abstract. *In the present study, a new modified approach for antenna modeling using a sparse grid is presented. The approach was applied to a reflector antenna that had been previously manufactured and modeled. The effectiveness of the proposed approach was evaluated by comparing its results with measured and calculated data using other approaches. It was found that it is capable of generating sparse antennas with lower computational costs that can still satisfy the required antenna characteristics. These sparse antennas can also be manufactured with less mass, which is a significant advantage.*

Введение. Моделирование антенны стало незаменимым шагом перед её изготовлением с появлением компьютерных вычислительных систем. Точный электродинамический анализ для антенн со сложной конструкцией требует значительного объема памяти и времени при решении уравнений Максвелла. Существует множество численных методов, используемых при решении таких задач. ММ [1] является одним из наиболее часто используемых, поскольку он обладает простым алгоритмом, способен давать приемлемые результаты с использованием меньших ресурсов, чем другие численные методы. Недавно появился новый метод моделирования антенн с учётом ММ и на основе аппроксимации поверхностей проводящих структур проводной сеткой, который показал преимущества в снижении вычислительных затрат [2]. С применением данного метода, недавно предложен новый подход к моделированию разреженных антенн, основанный на аппроксимации оптимальной токовой сеткой (АОТС) [3]. Кроме того, предложена модификация АОТС, известная как «соединяющая» АОТС (САОТС), которая помогает справиться с техническими трудностями, возникающими при изготовлении разреженных антенн с использованием обычной АОТС. Несмотря на то, что применение САОТС приводит к снижению технических трудностей, она не является оптимальной по снижению вычислительных затрат при последующем моделировании полученной разреженной структуры, поскольку она восстанавливает значительное число проводов, удаленных после применения АОТС для сохранения цельности проводной структуры. Исходя из этого, цель данной работы заключается в модификации АОТС таким образом, чтобы полученная разреженная структура позволила не только снизить технические трудности при её

изготовлении, но и проводить последующие моделирования с минимальными вычислительными затратами и достигать при этом приемлемой точности в полученных характеристиках. В рамках данной работы результаты модифицированной АОТС будут сравнены с полученными ранее после АОТС и САОТС в [3] и результатами измерений в [4], чтобы оценить его эффективность.

Экспериментальная часть. Поскольку в АОТС из проводной структуры антенны исключаются провода, в которых модуль тока меньше заданного уровня относительно максимального, называемого допуском на удаление элемента сетки (ДУЭС), это может приводить к разрыву связей между некоторыми проводами и основной сеткой. В данной работе предлагается модифицировать АОТС путем удаления этих проводов, что позволит сохранить целостность структуры и уменьшить затраты на моделирования при использовании её вместо исходной. Исходя из этого, такую АОТС можно назвать устраняющей свободные провода (УАОТС).

УАОТС будет проиллюстрирована на примере моделирования зеркальной антенны из работы [4], изображенной на Рис. 1*а*. Проводная структура антенны, далее называемая исходной, представлена на Рис. 1*б*. После удаления проводов по АОТС (Рис. 1*в*), УАОТС ищет свободные провода и удаляет их, чтобы осталась только целостная проводная структура (Рис. 1*г*).

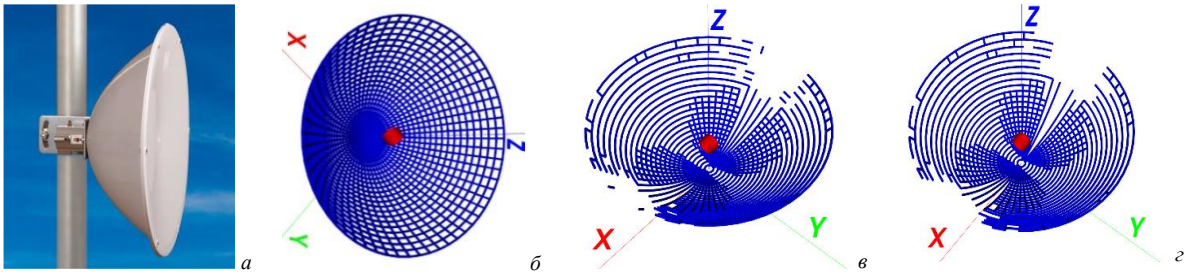


Рис. 1. Исследуемая зеркальная антенна [4] (а), её эквивалентная проводная структура (б), и полученные антенны после АОТС (в) [3] и УАОТС (г) при ДУЭС=10% на частоте 5,1 ГГц

Результаты. Для проверки эффективности УАОТС, сравнены результаты её применения с результатами применения АОТС и САОТС к той же антенне, полученные в работе [3], при ДУЭС = 10 % на частоте 5,1 ГГц. Диаграммы направленности (ДН) в плоскостях *E* и *H* антенны после УАОТС сравнивались с ДН для исходной структуры и измеренными из [4] (рис. 2). Они также сравнивались с полученными после АОТС и САОТС [3] (рис. 3). Из рис. 2 видно, что уровни боковых лепестков после УАОТС выше, чем для исходной структуры, максимум на 8 дБ. Однако, они остаются приемлемыми, поскольку основной задачей антенн такого типа является повышение излучения в основном направлении. Уровень боковых лепестков при УАОТС также немного выше, чем при САОТС (рис. 3), но расхождения наблюдаются лишь при некоторых углах. В общем, можно считать, что результаты при УАОТС хорошо согласуются с результатами при АОТС и САОТС.

Первоначальное количество проводов для исходной структуры N_S=3000, после АОТС N_A = 1988, САОТС – N_C = 2101, а УАОТС – N_E = 1958. Основные затраты времени на решение СЛАУ (здесь методом Гаусса), пропорциональны третьей степени её порядка $O(N)^3$, а памяти – $O(N)^2$. В результате, уменьшение массы антенны при УАОТС больше, чем при САОТС в 1,07 раза, памяти – 1,15 раза, а времени – 1,23 раза.

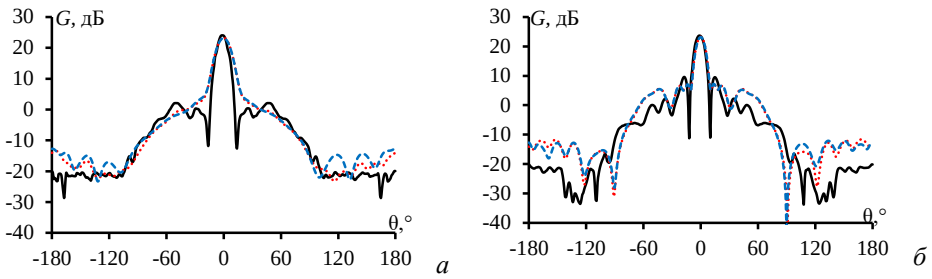


Рис. 2. ДН антенны, измеренные в [4] (—) и вычисленные для исходной [3] (····) и разреженной после УАОТС (---) в плоскостях E (а) и H (б)

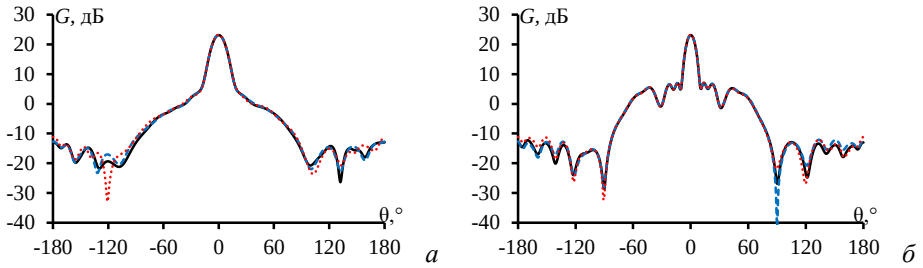


Рис. 3. ДН разреженных антенны в E (а) и H (б) плоскостях после АОТС [3] (—), САОТС [3] (····) и УАОТС (---)

Заключение. В результате применение УАОТС, предложенной здесь для создания разреженных антенн, даёт уровень боковых лепестков немного больше, чем у САОТС. Однако результаты остаются приемлемыми и сопровождаются меньшими вычислительными затратами (памяти на 15.2% и времени на 23.7%) и меньшей массой (на 7%) антенн, чем у САОТС. При этом целостность структуры сохраняется, что упрощает её изготовление. Таким образом, результаты показывают, что применение УАОТС позволило добиться наилучшей оптимизации проводной структуры антенны по сравнению с АОТС и САОТС в отношении массы и затрат.

Результаты получены при удалении небольшого количества проводов. При удалении значительного количества проводов и увеличении значения ДУЭС возможно ухудшение точности результатов, что планируется исследовать в будущем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2023-0014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харрингтон Р.Ф. Применение матричных методов к задачам теории поля // Труды института инженеров по электронике и радиотехнике. – 1967. – № 2. – С. 5-19.
2. Alhaj Hasan A., Klyukin D.V., Kvasnikov A.A., Komnatnov M.E., Kuksenko S.P. On Wire-Grid Representation for Modeling Symmetrical Antenna Elements // Symmetry. – 2022. – Vol. 14., №. 7. – P.1354.
3. Alhaj Hasan A., Nguyen T.M., Kuksenko S.P., Gazizov T.R. Wire-grid and sparse MoM antennas: past evolution, present implementation and future possibilities. // Symmetry. – 2023. – Vol. 15., №. 2. – P. 378.
4. Jirous antennas direction for your waves [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.jirous.com/antenna-5ghz-parabolic/jrc-24DD_MIMO. (дата обращения: 15.02.2023)

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНАМИ Al НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ВТ1-0 В МЕЛКОЗЕРНИСТОМ СТРУКТУРНОМ СОСТОЯНИИ

А.В. Никоненко[1,2], Н.А. Попова[3], Е.Л. Никоненко[3]

Научный руководитель: доцент, д.ф-м.н., И.А. Курзина[4]

[1]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

[2]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

[3]Томский государственный архитектурно-строительный университет,

Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634003

[4]Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

aliska-nik@mail.ru

INFLUENCE OF THE DOSE OF IMPLANTATION WITH Al IONS ON THE STRENGTH PROPERTIES OF VT1-0 ALLOY IN THE MOH STRUCTURAL STATE

A.V. Nikonenko[1,2], N.A. Popova[3], E.L. Nikonenko[3]

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., PhD., I.A. Kurzina[4]

[1]Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

[2]Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS, Russia, Tomsk, Akademichesky ave., 2/4, 634055

[3]Tomsk State University of Architecture and Building, Russia, Tomsk, Solyanaya str. 2, 634003

[4]Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

aliska-nik@mail.ru

Abstract. *Transmission diffraction electron microscopy was used to study the fine structure of the VT1-0 alloy in the fine-grained state (MG) (average grain size ~ 1.7 μm) after implantation with aluminum ions at various radiation doses. It has been established that in the MG state of the alloy, a gradient structure is formed deep from the surface of the implanted sample, consisting of 5 different layers: 1 – oxide layer; 2 – ion-doped layer; 3 – a layer with a crushed grain structure; 4 – layer of residual influence of implantation; 5 – layer with initial grain structure. It has been established that the main strengthening is provided by layer 2 and layer 3 in all doses of implantation, due to internal local stresses and solid solution strengthening, grain boundary strengthening and hardening by particles of the second phases make a significant contribution.*

Введение. Повышение надежности и увеличение долговечности деталей, инструментов и конструкций, как правило, выражают количественными показателями механических свойств. Типичными характеристиками, применяющимися для этих целей, являются: предел текучести, деформационное упрочнение, напряжение разрушения и др.

К настоящему времени установлено, что высокая прочность сплавов и, в частности, сплава ВТ1-0, подвергнутого имплантации ионами алюминия, определяется многими факторами, основными из

которых являются [1]: 1) наличие атомов алюминия и кислорода, находящихся в твердом растворе; 2) плотность дислокаций; 3) наличие в сплаве частиц интерметаллидных фаз и оксидов; 4) наличие границ зерен. Роль каждого из этих факторов в каждом случае будет различной, и доля вклада отдельных механизмов упрочнения в общее упрочнение материала также неодинакова. При этом необходимо отметить, что при имплантации формируется градиентная структура, и в каждом слое такой структуры названные факторы будут вносить различный вклад, зависящий как от размера зерна, так и от дозы ионной имплантации.

Экспериментальная часть. В качестве исследуемого материала был выбран технически чистый титан (сплав ВТ1-0) в МЗ-состоянии. Для формирования МЗ-состояния в заготовках сплава ВТ1-0 применяли комбинированный метод многократного одноосного прессования (abc-прессование). Образцы после abc-прессования были отожжены при температуре 773 К, 1 час. Далее полученные образцы подверглись ионной имплантации.

Ионная имплантация алюминия в сплав ВТ1-0 проведена на ионном источнике MEVVA-V.RU при температуре 623 К, ускоряющем напряжении 50 кВ, плотности тока ионного пучка 6.5 мА / см^2, расстоянии 60 см от ионно-оптической системы. Вариация дозы облучения ($1\cdot10^{17}$, $5\cdot10^{17}$ и $10\cdot10^{17}$ ион/см^2) достигалась за счет изменения времени облучения (0,8; 4,1; 5, 25 ч соответственно)

Исследования микроструктуры проведены методом просвечивающей электронной дифракционной микроскопии (ПЭМ) на просвечивающем электронном микроскопе JEM-2100F Метод ПЭМ выполнен при ускоряющем напряжении 200 кВ и рабочем увеличении от 15000 до 150000 крат.

В результате проведенных исследований проанализирован фазовый состав, а также внутренняя структура зерен, выявлены источники внутренних напряжений и определена их амплитуда. Определение амплитуды внутренних напряжений базировалось на определении кривизны-кручения кристаллической решетки по изгибным экстинкционным контурам.

Результаты. Проведенные исследования показали, что в МЗ-состоянии сплава по мере удаления от поверхности обработанного образца в глубь материала формируется градиентная структура, состоящая из 5 различных слоев: 1 – оксидный слой; 2 – ионно-легированный слой; 3 – слой с измельченной зеренной структурой; 4 – слой остаточного влияния имплантации; 5 – слой с исходной зеренной структурой.

На основании многочисленных теоретических и экспериментальных исследований получен целый ряд соотношений, позволяющих установить количественную связь параметров тонкой структуры с механическими свойствами.

Согласно известным представлениям [1], расчет предела текучести при разных дозах имплантации в настоящей работе, проводился по формуле:

$$\sigma = \Delta\sigma_п + \Delta\sigma_{тв} + \Delta\sigma_з + \Delta\sigma_{ор} + \sqrt{\left(\Delta\sigma_д^{\ 2} + \Delta\sigma_л^{\ 2}\right)},$$

где $\Delta\sigma_п$ – напряжение трения дислокаций в кристаллической решетке α-Ti; $\Delta\sigma_{тв}$ – упрочнение твердого раствора на основе α-Ti атомами легирующих элементов (твердорастворное упрочнение);$\Delta\sigma_з$ – упрочнение за счет границ зерен (зернограничное упрочнение); $\Delta\sigma_л$ – упрочнение дислокациями «леса», которые перерезают скользящие дислокации (внутреннее напряжение сдвига); $\Delta\sigma_д$ – упрочнение дальнодействующими

полями напряжений (внутренние моментные, или локальные напряжения); $\Delta\sigma_{op}$ – упрочнение материала некогерентными частицами при обходе их дислокациями по механизму Орована.

Исследования показали, что, во-первых, независимо от дозы имплантации наибольшее упрочнение сплава ВТ1-0 в МЗ-состоянии обеспечивается слоями 2 (ионно-легированный слой) и 3 (слой с измельченной зеренной структурой) (Рисунок 1). Во-вторых, в ионно-легированном слое (слое 2) основной вклад в упрочнение сплава вносят, прежде всего, внутренние локальные напряжения и твердорастворное упрочнение, существенный вклад вносят зернограничное упрочнение и упрочнение частицами вторых фаз. В слое с измельченной зеренной структурой (слое 3) величина этих вкладов уменьшается, однако они продолжают вносить наиболее существенный вклад в упрочнение сплава. В слое остаточного влияния имплантации (слое 4) и в слое с исходной зеренной структурой (слое 5) все вклады практически сравниваются и приближаются к своими исходными значениями. Также было установлено, что на поверхности имплантированных образцов величина предела текучести практически в 4 раза больше по сравнению с исходным (не имплантированным) состоянием сплава.

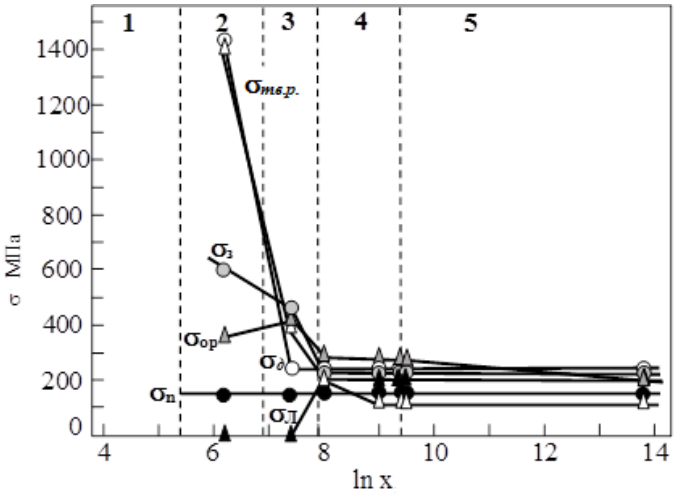


Рис. 1. Вклады отдельных механизмов упрочнения в предел текучести сплава ВТ1-0 в МЗ-состоянии, имплантированного с дозой 1 ×10^{17} ион/см^2 (1 – 5 – номера слоев градиентной структуры)

Заключение. Независимо от дозы ионной имплантации в сплаве ВТ1-0 образуется градиентная структура, состоящая из пяти слоев. Наибольшее упрочнение обеспечивается ионно-легированным слоем и слоем с измельченной зеренной структурой.Также основной вклад в упрочнение в мелкозернистом состоянии вносят твердорастворные упрочнения и локальные напряжения.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FEMN-2023-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курзина И.А., Козлов Э.В., Шаркеев Ю.П. и др. Нанокристаллические интерметаллидные и нитридные структуры, формирующиеся при ионно-плазменном воздействии. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008. – 324 с.

УДК 004.934

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

В.И. Новокрещенных

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.А. Конев

Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: clava-m@yandex.ru

IMPROVING THE QUALITY OF AUTOMATIC SPEECH RECOGNITION

V.I. Novokreshchennykh

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. A.A. Konev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: clava-m@yandex.ru

Abstract. *Nowadays, automatic speech recognition and its capabilities are used in various directions. The quality of speech recognition plays an important role in improving the performance of ASR systems. This article will provide an overview of various proposals for improving speech recognition systems proposed by various researchers over the past decade.*

Введение. В наше время распознавание речи используется довольно часто. Автоматическое распознавание речи и его возможности широко применяются в инструментах диктовки, при изучении другого языка [1-3]. Кроме того, распознавание речи может помочь пациентам с трудностями языкового общения или для проведения диагностики при различных заболеваниях [4-6]. Качество распознавания речи имеет важную роль в улучшении работы ASR. Улучшение качества распознавания речи важно для получения лучших результатов и потребность в нем возросла в различных приложениях автоматического распознавания речи (ASR) и систем мобильной речевой связи [7].

Экспериментальная часть. Для улучшения ASR на этапе подготовки входных данных была найдена информация о программном комплексе, который может использоваться для вычисления звуковых характеристик, которые в дальнейшем можно использовать в модели глубокого обучения [4]. Помимо этого, были предложены комбинированные схемы для систем, основанных на гауссовом моделировании или на I-векторе, в которых независимо созданные модели специфичные для конкретных признаков дополняются для построения результирующих моделей [8].

Кроме того, для повышения точности выборки признаков предлагают применять линейный дискриминантный анализ (LDA) во внешней части системы ASR [9]. Также в одном из исследований был предложен внешний интерфейс включающий в себя систему классификации многоязычных режимов речи (MSMC) и модель MSMT для преобразования характеристик разговорного и импровизированного режимов речи в режим чтения речи [10].

Результаты. В результате обзора литературы был обнаружен набор голосовых функций, результаты которых могут быть входными данными ASR [6]. Также в качестве входных данных можно применять

спектрограмму промежуточных сегментов аудиопотока или использовать маски вместо признаков [11, 7]. Еще для извлечения признаков можно использовать MFCC, PLPCC, CQCC и PESFFCC [12].

Вместе с тем для улучшения качества входных данных была предложена структура улучшения речи, которая использует фонетическую информацию, полученную из акустической модели [13]. В одном из исследований для снижения акустического шума было предложено применять двухканальный подход при использовании нового автоматического алгоритма обратного слепого разделения источников (BBSS) [14]. Для улучшения речи была предложена двойная архитектура на основе сверточной рекуррентной нейронной сети (CRN) [7]. Также для шумоподавления было предложено использовать DAE как внешний процесс шумоподавления [15].

Для улучшения ASR на этапе глубокого обучения было предложено использовать DNN и функцию потерь на основе TFC для повышения производительности DNN [2, 16]. Кроме того, для оптимизации весовой матрицы модели DNN был предложен метод оптимизации с использованием метаэвристического алгоритма (PIO) [17].

Также для улучшения ASR можно использовать языковую модель, основанную на рекуррентной нейронной сети (RNN) и применять сквозную модель вместо традиционной модели [18]. Кроме того, можно использовать глубокое, функциональное и трансферное обучение для отнесения голосовых записей к одному из двух классов [19]. При трансферном обучении было предложено использовать предварительно обученную модель на основе CNN [20].

Для улучшения ASR исследователями был представлен метод обучения Lead2Gold [21]. В одном из исследований был предложен новый комитетный подход на основе отсева (DSMC) для активного обучения в ASR [22].

Заключение. В этой статье из существующей литературы были обобщены и собраны предложения посвященные улучшению процесса ASR. Было получено представление о том, каким образом можно подойти к повышению качества ASR как на этапе подготовки входных данных, так и на этапе машинного обучения и классификации ASR.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gottardi W, Almeida J.F., Tumolo C.H.S. Automatic speech recognition and text-to-speech technologies for L2 pronunciation improvement: reflections on their affordances // Texto Livre: Linguagem e Tecnologia. 2022. – V.15. – P. 1-16.
2. Guo W, Yang H, Gan Z. Improving Mandarin Chinese Learning in Tibetan Second-Language Learning by Artificial Intelligent Speech Technology // 2019 International Joint Conference on Information, Media and Engineering (IJCIME). – 2019. P. 368-372.
3. Gan Z, Xing X, Yang H. Research on Voice Conversion from Tibetan Amdo to U-Tsang Dialect Based on Deep Learning // 2019 International Joint Conference on Information, Media and Engineering (IJCIME). – 2019. – P. 463-467.
4. Конев А.А. Модель и алгоритмы анализа и сегментации речевого сигнала: Автореф… Дис. канд. Техн. наук. – Томск, 2007. – 21 с.

5. Hawi S, Alhozami J, AlQahtani R, AlSafran D, Alqarni M, Sahmarany LE. Automatic Parkinson's disease detection based on the combination of long-term acoustic features and Mel frequency cepstral coefficients (MFCC). Biomed Signal Process Control. 2022;78:104013.
6. Islam R, Tarique M. Classifier Based Early Detection of Pathological Voice. In: 2019 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT). IEEE; 2019:1-6.
7. Girirajan S, Pandian A. Real-Time Speech Enhancement Based on Convolutional Recurrent Neural Network. Intell Autom Soft Comput. 2023;35(2):1987-2001.
8. Fukuda M, Nishizaki H, Nishimura R, Iribe Y, Kitaoka N. Construction of a Corpus for Elderly Japanese Speech Recognition. In: 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). IEEE; 2018:687-688.
9. Dutta K, Mishra J, Pati D. Effective use of combined excitation source and vocal-tract information for speaker recognition tasks. Int J Speech Technol. 2018;21(4):1057-1070.
10. Tripathi K, Rao KS. CycleGAN-Based Speech Mode Transformation Model for Robust Multilingual ASR. Circuits Syst Signal Process. 2022;41(9):5283-5305.
11. Waris A, Aggarwal RK. Optimization of Deep Neural Network for Automatic Speech Recognition. In: 2018 International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA). IEEE; 2018:524-527.
12. H.m. C, Karjigi V, Sreedevi N. Speech intelligibility assessment of dysarthria using Fisher vector encoding. Comput Speech Lang. 2023;77:101411.
13. Wu B, Yu M, Chen L, Jin M, Su D, Yu D. Improving Speech Enhancement with Phonetic Embedding Features. In: 2019 IEEE Automatic Speech Recognition and Understanding Workshop (ASRU). IEEE; 2019:645-651.
14. R JK, L MV, B SB, Yawalkar P. Speech Intelligence Using Machine Learning for Aphasia Individual. In: 2019 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE). IEEE; 2019:664-667.
15. Yunior YTK, Kusrini. Integration System of Voice Recognation and DC Motor Control Using Fuzzy Logic on Smart Wheel Chair. J Phys Conf Ser. 2018;1140:012053.
16. Zhan G, Wei W, Hu Q, Zhang P. DNN-based Speech Enhancement for Improving Speech Quality and Intelligibility Simultaneously. In: 2019 IEEE International Conference on Signal, Information and Data Processing (ICSIDP). IEEE; 2019:1-5.
17. Helmke H, Slotty M, Poiger M, et al. Ontology for Transcription of ATC Speech Commands of SESAR 2020 Solution PJ.16-04. In: 2018 IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC). IEEE; 2018:1-10.
18. Chen Y, Zhang J, Yuan X, et al. SoK: A Modularized Approach to Study the Security of Automatic Speech Recognition Systems. ACM Trans Priv Secur. 2022;25(3):1-31.
19. Guan H, Lerch A. Evaluation of Feature Learning Methods for Voice Disorder Detection. Int J Semantic Comput. 2019;13(04):453-470.
20. Sarnot SAP, Rinke S, Raimalwalla R, Joshi R, Khengare R, Goel P. SnapCode - A Snapshot Based Approach to Code Stylometry. In: 2019 International Conference on Information Technology (ICIT). IEEE; 2019:337-341.
21. Dufraux A, Vincent E, Hannun A, Brun A, Douze M. Lead2Gold: Towards exploiting the full potential of noisy transcriptions for speech recognition. Published online October 16, 2019. Accessed October 26, 2022. http://arxiv.org/abs/1910.07323.
22. Fu J, Ru K. A Dropout-Based Single Model Committee Approach for Active Learning in ASR. In: 2019 IEEE Automatic Speech Recognition and Understanding Workshop (ASRU). IEEE; 2019:16-22.

УДК 621.391.825

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ *N*-НОРМ ДЛЯ АНАЛИЗА СТРУКТУР С МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ ПРИ ВКЛЮЧЕННОМ ПИТАНИИ И БЕЗ В РЕЗЕРВНОЙ ЦЕПИ

Н.С. Павлов

Научный руководитель: к.т.н. Е.С. Жечев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: pavlov.n@tu.tusur.ru

THE USE OF *N*-NORMS FOR ANALYZING STRUCTURES WITH MODAL RESERVATION, WITH AND WITHOUT POWER IN THE RESERVING CIRCUIT

N.S. Pavlov

Scientific Supervisor: PhD. Y.S. Zhechev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, 40 Lenina str., 634050

E-mail: pavlov.n@tu.tusur.ru

Abstract. *This paper provides an N-norm estimation for a redundant circuit in the presence and absence of power in the reserve circuit. The results show that accounting for power in the reserving circuit does not increase the susceptibility level.*

Введение. На сегодняшний день радиоэлектронная аппаратура (РЭА) занимает важную роль в различных сферах деятельности человека. Развитие РЭА, увеличение количества и плотности компоновки аппаратуры приводит к нарушениям работы устройств из-за различных взаимных электромагнитных помех, что актуализирует проблему обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС). Недостаточное внимание к надежности и ЭМС РЭА, как правило, недопустимо. Общеизвестным путем повышения надежности РЭА являете резервирование, когда при отказе функционирующей цепи подается питание на другую, не задействованную ранее [1]. Известен способ трассировки печатных трасс для цепей с резервированием, позволяющий обеспечить ЭМС РЭА за счет известного принципа модальной фильтрации [2]. Использование модальных разложений нежелательного сигнала, за счет электромагнитной связи между резервируемым и резервирующими проводниками в неоднородной диэлектрической среде позволяет соблюдать уровень ЭМС. Ранее, влияния питания в резервной цепи устройств с модальным резервированием (МР) уделялось недостаточно внимания. Следовательно, цель данной работы – выполнить оценку *N*-норм для анализа структур с модальным резервированием при включенном питании и без в резервной цепи.

Экспериментальная часть. Для оценки выбрана структура полосковой линии передач (ПЛП) с однократным МР. Способ МР заключается в том, что резервируемая и резервирующая цепи выполняются так, что каждый проводник резервируемой цепи является активным, а соответствующий проводник резервирующей цепи – пассивным, в смысле модальной фильтрации сигналов. Рассмотрим конфигурацию ПЛП с экранами сверху и снизу. Основная функция экранов заключается в уменьшении уровня излучаемых эмиссий. Поперечное сечение и схемы включения представлены на рис. 1.

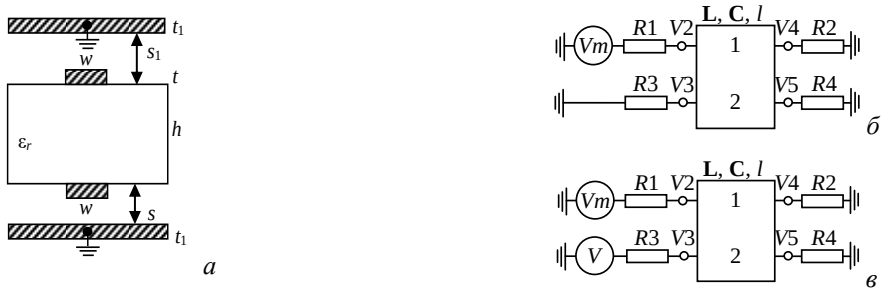


Рис 1. Поперечное сечение ПЛП с однократным МР (а), схема включения без питания на резервной цепи (б), схема включения с питанием в резервной цепи (в)

Геометрические параметры поперечного сечения: ширина проводников w = 185 мкм, толщина проводников t = 35 мкм, относительная диэлектрическая проницаемость ε_r = 10,2, расстояние от проводников до экранов s = 565 мкм, высота диэлектрика h = 130 мкм.

Анализ *N*-норм. Осуществление данного анализа определяет возможности выхода из строя электронных компонентов и основывается на вычислении *N*-норм [3]. Структура разделена на 31 равный сегмент, в каждом из которых вычислялась форма напряжения на заданное воздействие. Формы каждой нормы (N_1–N_5), вычисленные вдоль резервной цепи без питания, представлены на рис. 2.

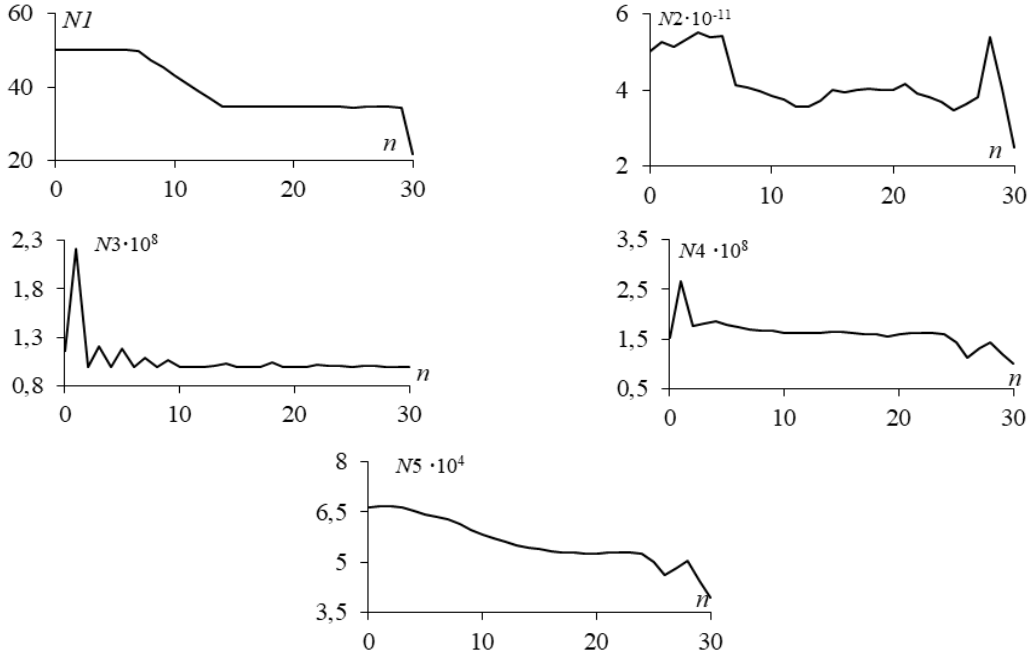


Рис 2. Формы норм N1–N5 вычисленные вдоль резервной цепи без питания

Из графиков видно, что форма первой нормы (N_1) имеет постепенно убывающий характер. Пиковое значение N_1 для первой структуры наблюдалось на 1-м сегменте и составило примерно 50,05. Минимальное значение первой нормы наблюдалось на последнем 30-ом сегменте и составило примерно 21,6. Форма второй нормы N_2 имеет более хаотичный характер. Пиковое значение нормы наблюдалось на 4-ом сегменте и составляло $5{,}52\cdot10^{11}$. Форма третей нормы (N_3) за исключением 1-го пикового сегмента имеет практически равные значения. Пиковое и минимальное значение нормы составило $2{,}21\cdot10^{-8}$ и $0{,}99\cdot10^{-8}$ соответственно. Между тем, нормы N_3–N_5 имеют малые пиковые значения, в связи с чем,

вероятность дугового пробоя, искрения компонента и сбоя схемы минимальна. Далее осуществлялся анализ восприимчивости с питанием на резервирующей цепи. Формы каждой нормы (N_1–N_5), вычисленные вдоль резервной цепи с питанием, представлены на рис. 3.

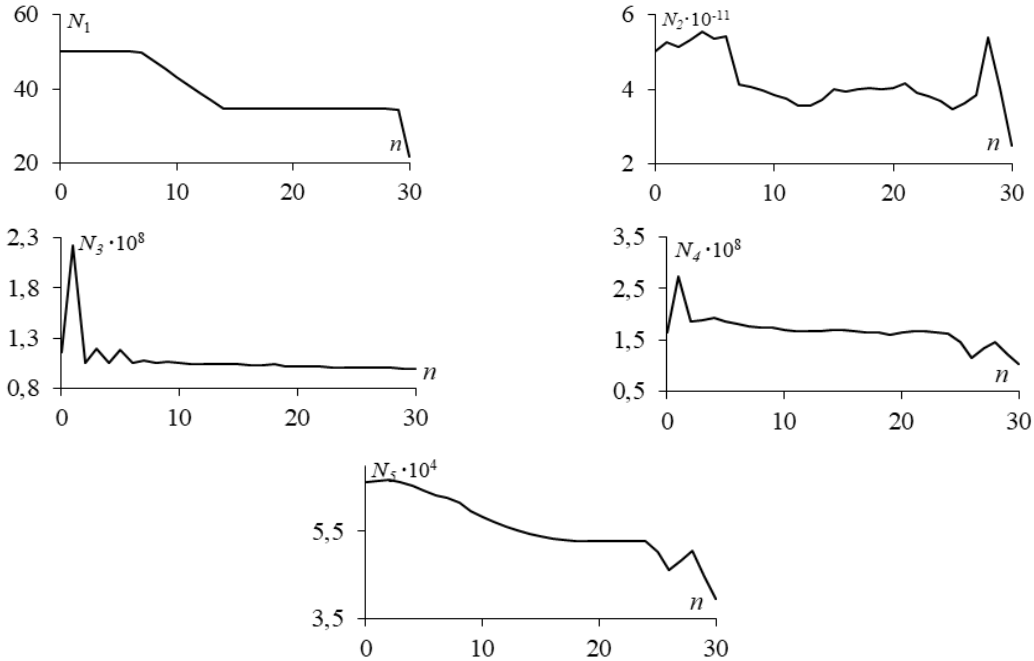


Рис 3. Формы норм N1–N5 вычисленные вдоль резервной цепи с питанием

Пиковое значение нормы N_1 наблюдалось на также на 1-м сегменте и составляло примерно 50,06. Максимальное увеличение пикового значения нормы при включении питания на резервирующую цепь наблюдалось на норме N_4 в 1-ом сегменте. Пиковое значение составило примерно $2{,}74 \cdot 10^{-8}$. Форма и пиковые значения норм N_1–N_5 практически не изменились, следовательно, восприимчивость данной структуры при добавлении питания в резервирующую цепь практически не увеличивается.

Заключение. В данной работе проведен анализ ПЛП с однократным МР с помощью *N*-норм. Для вычисления норм структура ПЛП была разделена на 31 равный сегмент. Нормы получены для случая с учетом питания на резервной цепи и без. Так, при учете питания на резервной цепи выявлено, что восприимчивость данной структуры практически не увеличивается, следовательно, вероятность дугового пробоя, искрения компонента и сбоя схемы не увеличилась.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-19-00424) в ТУСУРе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарафутдинов В.Р., Газизов Т.Р. Анализ способов резервирования на основе модальной фильтрации // Системы управления связи и безопасности. – 2019. – №. 3. – С. 117-144.
2. Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Модальные фильтры для защиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата. – М.: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2013. – 151 с.
3. Baum. C. Norms and Eigenvector norms // Mathematics Notes. – 1979. – V. 63. – 49 p.

УДК 681.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЛЕГОЧНЫХ ТЕРАПИЙ

А. Павловский, А.А. Филипас

Научный руководитель: к.т.н. А.А. Филипас

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: avp135@tpu.ru

MODELING THE HUMAN RESPIRATORY SYSTEM AS AN OBJECT OF SCIENTIFIC RESEARCH AUTOMATION IN THE FIELD OF PULMONARY THERAPIES

A. Pavlovsky, A.A. Philipas

Scientific Supervisor: PhD. A.A. Philipas

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: avp135@tpu.ru

Abstract. *This paper describes the simulation of the human respiratory system as an object of automation. The following are presented: parameters monitored in a patient, a finalized simulation structural model, and its performance is demonstrated.*

Введение. Исследования в области легочных терапий всегда вызывали интерес у научно-медицинских исследователей. Так как поиск и тестирование новых методов лечение легочных заболеваний таких как COVID-19, ХОБЛ, астма, туберкулез и т. д. довольно нетривиален. В ходе литературного обзора обнаружилось, что, к примеру COVID-19 можно лечить с помощь ксенон-кислородной смеси [1]. Так как ксенон является инертным газом, он не имеет побочных эффектов. Исходя из этого мы хотим исследовать как другие инертные газы в различных пропорциях смогут помочь в лечении легочных заболеваний. В связи с этим есть потребность в автоматизации данного процесса. В ходе предыдущих научных исследований была разработана концепция «Программно-аппаратного комплекса для автоматизации научных исследований в области терапии легочных заболеваний» [2].

Экспериментальная часть. Так как терапия производится на реальном человеке нам необходимо проводить наблюдения за его жизненными показателями. Были выбраны следующие показатели: объем дыхания, поток дыхания, температура тела, верхние и нижние артериальное давление, сатурация и пульс. Исходя из них мы сможем определять улучшились ил ухудшились показатели после проведенной терапии. Для большей гибкости в проведении исследований в области легочных терапий было принято решение о доработке имитационной структурной модели (рис. 1) [3]. В нее добавился новый блок «Patient», который имитирует пациента с указанными выше параметрами. Данная модель состоит из блока входных данных (параметры состояния пациента) и имитации расхода газов в баллонах.

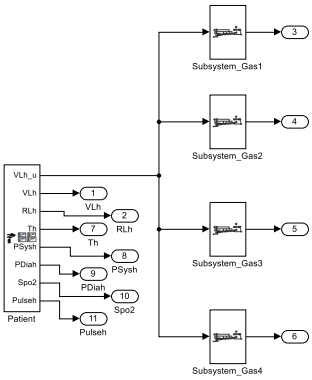


Рис. 1. Имитационная структурная модель

Результаты. Как видим из рис. 1, следует что расход газа управляется пациентом в зависимости от того, как происходит потребление газовой смеси пациентом (параметр *VLh_u*). Для большего понимания промоделируем данную модель (рис. 2-3), отметим, что параметры пациента были взяты из зарубежной базы данных [4, 5].

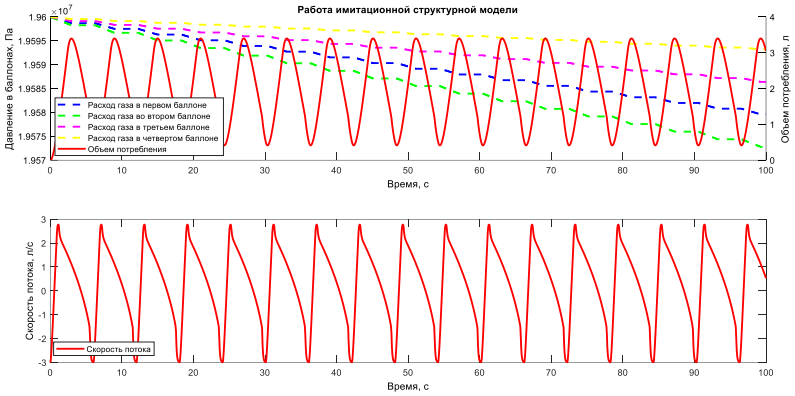


Рис. 2. Работа новой имитационной модели (расход газовой смеси)

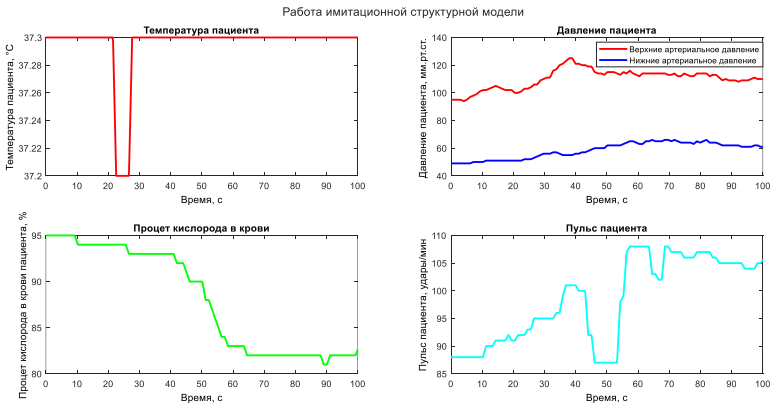


Рис. 3. Работа новой имитационной модели (параметры пациента)

Заключение. Произведено моделирование дыхательной системы человека как объекта автоматизации научных исследований в области легочных заболеваний. Продемонстрирована новая

имитационная структурная модель, которая учитывает параметры пациент и подстраивает работу комплекса под него. Дальнейшим нашим шагом будет разработка прототипа для проведений исследований на реальном пациенте, а именно нас интересует как изменяются параметры пациент в зависимости от подаваемой газовой смеси, особый интерес к форме сигналов: объема и потока дыхания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Udut, V.V., Naumov, S.A., Evtushenko, D.N., Udut, E.V., Naumov, S.S., & Zyuz'kov, G.N. A case of xenon inhalation therapy for respiratory failure and neuropsychiatric disorders associated with COVID-19 // EXCLI Journal. – 2021. – Vol. 20. – P. 1517–1525.
2. Филипас А.А., Павловский А. «Программно-аппаратный комплекс для автоматизации научных исследований в области терапии легочных заболеваний на основе многокомпонентной газовой смеси» // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2022. – С. 320–322.
3. Дорф Р., Бишоп. Р. Современные системы управления. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.
4. Спирограмма легких человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tryphonov.ru/tryphonov2/terms2/sgfvp2.htm. (дата обращения: 05.03.2022)
5. Moody G., Mark R. A Database to Support Development and Evaluation of Intelligent Intensive Care Monitoring // Computers in Cardiology. – 1996. – Vol. 23. – P. 657–660.

УДК 535.37; 538.935; 535-31

ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ РЕКОМБИНАЦИЯ СВОБОДНЫХ ЭКСИТОНОВ В АЛМАЗЕ

А.С. Попова

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. Е.И. Липатов

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634045

E-mail: popova_31_03@mail.ru

RADIATIVE RECOMBINATION OF FREE EXCITONS IN DIAMOND

A.S. Popova

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D., E.I. Lipatov

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634045

E-mail: popova_31_03@mail.ru

Abstract. *This paper presents the photoluminescence spectra of synthetic undoped diamond excited by pulsed laser radiation at 222 nm with a pulse energy from 4 mJ to 25 mJ. The spectra were obtained in the temperature range from 85 K to 300 K. The temperature and energy dependences of photoluminescence intensity are analyzed.*

Введение. Исследование люминесценции является одним из спектральных методов анализа твердого тела. Краевой люминесценцией в полупроводниках называют межзонное излучение с энергией квантов, приблизительно равной ширине запрещенной зоны. Для беспримесного алмаза край фундаментального поглощения находится на 225 нм (5,49 эВ), поэтому для возбуждения в нем фотолюминесценции (ФЛ) необходимо лазерное излучение с длиной волны $\lambda < 225$ нм. Наиболее подходящим для этого является KrCl-лазер с длиной волны излучения $\lambda = 222$ нм [1].

В спектрах краевой ФЛ широкозонных полупроводников наблюдаются характерные пики, отвечающие за рекомбинацию свободных экситонов (СЭ). Рекомбинация СЭ при комнатной температуре не дает значительных вкладов в люминесценцию, из-за высокой вероятности термической диссоциации экситона. Кроме того, в случае непрямозонных полупроводников необходимость во взаимодействии с фононом при излучательной рекомбинации существенно уменьшает интенсивность излучательной рекомбинации экситонов. Однако, для алмаза это не так ввиду высокой энергии связи СЭ (~ 80 мэВ), которая обеспечивает высокую температуру термической диссоциации СЭ. Для конденсации СЭ в капли электронно-дырочной жидкости (ЭДЖ) необходима низкая температура и высокая плотность возбуждения. Формирование ЭДЖ в кристалле приводит к усилению фототока. Этот эффект может найти применение в углеродной электронике и в оптических коммутаторах больших мощностей, характеризующихся меньшей временной нестабильностью срабатывания по сравнению с электрическими разрядниками.

Экспериментальная часть. Для эксперимента был отобран беспримесный алмазный образец C10, выращенный методом газохимического осаждения. Образец представляет собой тонкую прямоугольную пластинку 5*5 мм с толщиной 0,25 мм.

Краевая ФЛ возбуждалась УФ лазерным импульсом с длиной волны излучения 222 нм и частотой следования импульсов 1 Гц, смесь активной среды лазера – HCl/Kr/Ne = 3 Тор/120 Тор/3 атм. Регистрация спектров проходила с помощью установки, схема которой показана на рисунке 1.

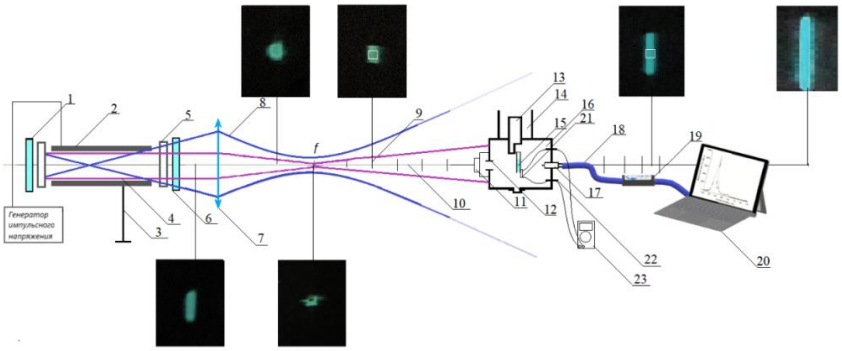


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 – глухое зеркало, 2 – электроды, 3 – заземленный электрод, 4 – вынужденное лазерное излучение, 5 – выходные окна, 6 – полупрозрачное зеркало, 7 – цилиндрическая линза, 8 – усиленное спонтанное излучение (УСИ), 9 – отметки положений камеры, 10 – оптическая ось, 11 – кварцевое окно камеры, 12 – квадратная апертура, 13 – теплоотвод, 14 – емкость для азота, 15 – алмазный образец, 16 – камера, 17 – коллиматор, 18 – оптическое волокно, 19 – спектрометр, 20 – компьютер, 21 – терморезистор, 22 – вакуумноплотные электрические вводы, 23 – мультиметр

Усиленное спонтанное излучение (8) KrCl лазера, проходя через цилиндрическую собирающую линзу (7), рассеивалось, а вынужденное (4) попадало сквозь кварцевое стекло (11) в камеру (16). Алмазный образец (15) фиксировался на медной пластине, которая была закреплена на теплоотводе (13). Камера была снабжена емкостью для охлаждения жидким азотом (14) и системой вакуумирования. Для измерения температуры к медной пластине крепился терморезистор (21), показания которого регистрировались с помощью мультиметра (23). Свечение ФЛ образца с помощью коллиматора и оптического волокна (18) попадало в спектрометр (19), а затем регистрировалось компьютером (20). Для регистрации спектров ФЛ, возбуждаемой разными энергиями лазерных импульсов, камера перемещалась вдоль оптической оси (10) по скамье по нескольким положениям.

Результаты. В результате проведенного эксперимента были получены спектры краевой ФЛ для беспримесного синтетического алмаза в энергетическом диапазоне от 4 до 25 мДж (рис. 2а) и температурном диапазоне от 85 до 300 К (рис. 2б).

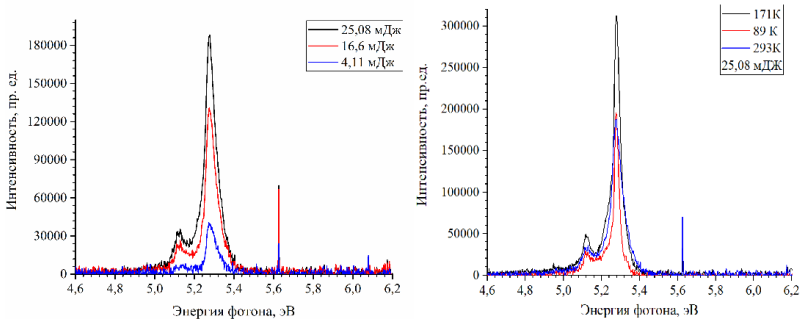


Рис. 2. Спектры краевой фотолюминесценции а) в энергетическом диапазоне от 4 до 25 мДж при T = 293 К; б) в температурном диапазоне от 89 К до 293 К при E = 25,08 мДж

На данных спектрах явно заметны характерные группы пиков, отвечающие за излучательную рекомбинацию СЭ. Так, пики на 5,1 эВ, 5,27 эВ отвечают за рекомбинацию СЭ с испусканием ТО+О^{Г} и ТО фононов соответственно. По полученным спектрам видно, что на интенсивность пика излучательной рекомбинации СЭ влияет как энергия лазерного импульса, так и температура образца. Для анализа этого влияния были построены и аппроксимированы зависимости интенсивности пика, отвечающего за ТО фонон, от энергии (рис. 3а) и от температуры (рис. 3б).

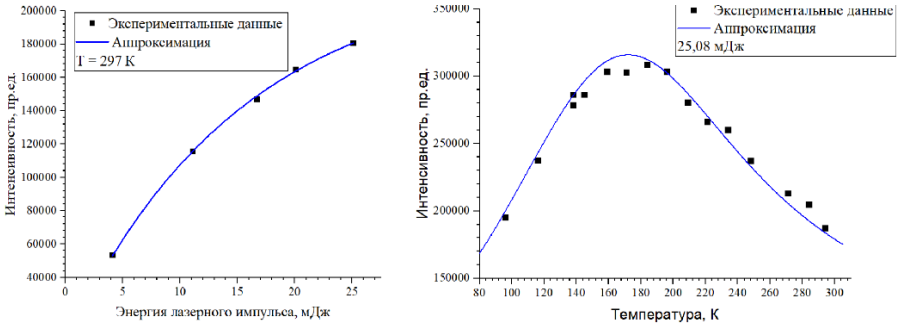


Рис. 3. Зависимости интенсивности пика свечения ФЛ а) от энергии; б) от температуры

Энергетическая зависимость была аппроксимирована экспонентой вида $I_{фл} = a(1 - e^{-bE})$, где $I_{фл}$ – интенсивность пика ФЛ, a = 224212,61 пр.ед., b = 0,06526 $\frac{1}{мДж}$, E – энергия лазерного импульса. Выход на насыщение интенсивности ФЛ СЭ с увеличением интенсивности лазерного возбуждения наблюдается ввиду снижения времени жизни носителей заряда с ростом их концентрации. Температурная зависимость аппроксимировалась функцией, предложенной в [2]. Данный характер температурной зависимости означает, что с повышением температуры повышается вероятность безызлучательных процессов, а с понижением температуры снижается вероятность освобождения экситонов, захваченных мелкими ловушками. Вид температурной зависимости интенсивности пика схож с видом температурной зависимости времени жизни экситонов, но положение максимума температурной зависимости было смещено в область больших температур на 10-20 К [3].

Заключение. В результате проведенных исследований выявлено, что пик времени жизни СЭ находится в равновесном состоянии – приблизительно при 160-170 К, а наибольшая интенсивность пика достигается при большей энергии лазерного импульса. Смещение максимума температурной зависимости интенсивности пика СЭ в область высоких температур, относительно положения, известного из литературы, предположительно связано с влиянием конденсации СЭ в капли ЭДЖ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lipatov E.I., Avdeev S.M., Tarasenko V.F. Photoluminescence and optical transmission of diamond and its imitators // Journal of luminescence. – 2010. – V. 130. – P. 2106-2112.
2. Takiyama K., Abd-Elrahman M.I., Fujita T., Oda T. Photoluminescence and decay kinetics of indirect free excitons in dimonds under the near-resonant laser excitation // Solid State communications. – 1996. – Vol. 99., No 11. – P. 793-797.
3. Fujii A., Takiyama K., Maki R., Fujita T. Lifetime and quantum efficiency of luminescence due to indirect excitons in a diamond // Journal of luminescence. – 2001. – V. 94-95. – P. 355-357.

УДК 004.932

СЪЁМ И АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Е.А. Прозорова

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. М.М. Немирович-Данченко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: el.prozorova2000@yandex.ru

RECORDING AND ANALYZING THE OF THE THERMAL CHARACTERISTICS OF THE USER

E.A. Prozorova

Scientific Supervisor: Prof., Dr. M.M. Nemirovich-Danchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: michnd@mail.ru

Abstract. *Taking and analyzing the thermal characteristics of a person by processing thermal signals presented in the form of raster images is an urgent topic applicable in many scientific fields. Thermograms are used for the diagnosis of oncological diseases, in mechanical engineering, defense and space industries, as well as in the field of information security.*

Введение. Съём и анализ тепловых характеристик человека, посредством обработки тепловых сигналов, представленных в виде растровых изображений – актуальная тема, применимая во многих научных сферах. Использование тепловых сигналов и создание термографических изображений также доказало свою эффективность при распознавании клавиш, с которыми взаимодействовал человек. Речь о системе ThermoSecure, которая использует тепловизионные камеры для воспроизведения паролей по тепловым следам на клавиатурах компьютеров, экранах смартфонов и банкоматов.

Экспериментальная часть. Термограмма – это представление инфракрасной энергии в виде изображения распределения температуры [1]. Аутентификация по термограмме лица — это процесс доказательства и проверки подлинности заявленных пользователем данных, через предъявление и регистрацию инфракрасного излучения лица человека (термограммы), и путём преобразования этого излучения в соответствии с заранее определённым алгоритмом [2]. Термограмма лица уникальна для каждого человека и является инвариантной относительно намеренного или ненамеренного изменения внешнего визуального вида. Для реализации обработки термограмм используют [3]:

- локальные бинарные шаблоны (Local Binary Pattern);
- сетевые локальные дескрипторы (Weber Local Descriptor);
- вейвлеты Габора;
- метод k-ближайших соседей;
- локальные дескрипторы Вебера (Weber Local Descriptor, WLD)
- полносверточные нейронные сети (Convolutional Neuron Networks).

Результаты распознавания лица по термограмме с использование вышеописанных методов представлены в таблице 1.

Медицинская термография – это метод обследования пациентов с помощью тепловизора, позволяющего улавливать инфракрасное излучение и регистрировать распределение тепла на поверхности тела [4]. Основываясь на преимуществах метода, его допустимо применять в области спортивной и иной медицины, в качестве инструмента оценки эффективности лечения [5-12].

Практическая польза определения психофизиологического состояния человека с помощью термограммы лица в процессе расследования преступлений заключается в использовании теплового анализа лица в качестве методики идентификации лжи [13]. Изменения температурной карты лица человека могут быть считаны тепловизором и зафиксированы в виде термограмм, а впоследствии и идентифицированы как-то или иное состояние, эмоция или факт ложного высказывания.

Результаты. На основании вышеизложенных фактов можно сделать вывод, что тепловые изображения – это достаточно точный вид биометрической информации, что подтверждается результатами распознавания (таблица1). Внедрение аутентификации и идентификации по температурному портрету в современные системы безопасности может усовершенствовать функционал традиционных методов обеспечения безопасности и облегчить работу правоохранительных органов по раскрытию и расследованию преступлений.

Таблица 1

Достигнутые результаты по идентификации субъектов и их ПФС

Автор, год	Суть метода	Точность распознавания	Разрешение камеры, модель камеры
Жумажанова и соавт	Комитеты СНС и классификатор Байеса	97,2 %	FLIR E60, детектор разрешением 320 x 240 пикселей, термочувствительность 0,05°, температурный диапазон: –20 +650 ºС
J. Christensen	Авторский алгоритм	98 %	FLIRE320, разрешение 320 x 240, термочувствительность 0,10°, температурный диапазон: –20 +500 ºС
Denise S. Haddad	Авторский алгоритм	95 %	FLIRT400, разрешение 320 x 240, термочувствительность 0,05°, температурный диапазон: –20 +350 ºС
S. Sonkusare	Анализ тепловых реакций лица на восприятие субъектом мультимедийных материалов	94 %	FLIR A615, разрешение 640 x 480, термочувствительность 0,05°, температурный диапазон: - 20 +650 ºС

Заключение. По результатам аналитического исследования, отраженного в таблице, можно сделать вывод, что достижение поставленных целей в работах находится на уровне 90 %. Отличительная черта всех моделей тепловизоров – это их технические характеристики. Наиболее влияющими на результат являются разрешение детектора в пикселях и термочувствительность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарев К.С. Методы Идентификации человека с применением его термограммы лица [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46388273. (дата обращения 5.12.2022)
2. Безребрая И.С., Кузнецова В.В. Актуальность Применения биометрических методов аутентификации // Пятигорский государственный университет. – 2019. – С. 36-39.

3. Михеев М.Ю., Гудков К.В., Астахова Т.Н., Макарова Е.Ю. Обработка информации в системе идентификации по термограмме лица // Вестник НГИЭИ. – 2017. – Т.4. –№71. – С.7-15.
4. Жумажанова С.С., Татаринов И.Д. Влияние характеристик тепловизионных систем на точность распознавания пользователя и его состояния в задачах информационной безопасности // Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ): Труды международной научно-практической конференции. – Омск, 2021. – С.228-232.
5. Жумажанова С.С., Татаринов И.Д., Броницкий Д.А. О проблеме аутентификации и идентификации субъектов и их состояния по термограммам лица // Образование. транспорт. инновации. строительство: Сборник материалов IV Национальной научно-практической конференции. – Омск, 2021. – С.810-813.
6. Герасимова Е.И., Аудит Б., Ру С.-Г., Халил А., Аргул Ф., Наймарк О.Б., Гилева О.С., Арнеодо А. Междисциплинарный подход к оценке и дифференциации здоровых и пораженных раком тканей молочной железы на основе мультифрактального анализа динамики поверхностной температуры кожи // Российский журнал биомеханики. – 2014. – Т.18.
7. Gershon-cohen J, Haberman-brueschke JAD, Brueschke E.E. (1965) MEDICAL THERMOGRAPHY: A SUMMARY OF CURRENT STATUS. Radiologic Clinics of North America, no. 3, pp. 403-431.
8. Gul K.M., Ahmadi N., Wang Z. (2009) Digital thermal monitoring of vascular function: a novel tool to improve cardiovascular risk assessment. Vasc Med, no. 14, pp. 143-148.
9. Lahiri B.B., Bagavathiappan S, Jayakumar T, Philip J. (2012) Medical applications of infrared thermography: A review. Infrared Physics & Technology, no. 55, pp. 221-235.
10. Novljan G., Rus R.R., Koren-Jeverica A., Avčin T., Ponikvar R., Buturović-Ponikvar J. (2011) Detection of Dialysis Access Induced Limb Ischemia by Infrared Thermography in Children: Detection of DAILI by Thermography. Therapeutic Apheresis and Dialysis, no. 15, pp. 298-305.
11. Raghavendra U., Gudigar A., Rao T.N., Ciaccio E.J., Ng EYK, Rajendra Acharya U. (2019) Computer-aided diagnosis for the identification of breast cancer using thermogram images: A comprehensive review. Infrared Physics & Technology, no. 102, p.103041.
12. Ring E.F.J. (2007) The historical development of temperature measurement in medicine. Infrared Physics & Technology, no. 49, pp. 297-301.
13. Soroko M., Howell K. (2018) Infrared Thermography: Current Applications in Equine Medicine. Journal of Equine Veterinary Science, no.60, pp.90-96.

УДК 535.42

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ЗАПИСЬ ЧИРПИРОВАННЫХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ФПМ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР

Д.С. Растрыгин

Научный руководитель: профессор, к.ф.-м.н., С.Н. Шарангович

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: gg9dragon9gg@gmail.com

SEQUENTIAL RECORDING OF CHIRPED HOLOGRAPHIC PPM DIFFRACTION STRUCTURES

D.S. Rastrygin

Scientific Supervisor: Prof., PhD. S.N. Sharangovich

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: gg9dragon9gg@gmail.com

Abstract. *In this paper, we have experimentally demonstrated the combination of the methods of sequential recording and the formation of chirped holographic diffractive structures in photopolymer materials. The study showed a multiple increase in the width of the spectral and angular selectivity of holographic diffraction structures recorded by the combined method in a photopolymer material.*

Введение. В настоящее время широко исследуются процессы по увеличению угловой и спектральной селективности голографических дифракционных структур (ГДС), сформированных в фотополимерных материалах (ФПМ) [1-3].

Например, в работах [1, 2] было получено уширение угловой селективности ГДС за счет последовательной записи нескольких решеток, где коэффициент уширения был прямо пропорциональным количеству решеток. В работе [3] получены кривые углового отклика чирпированных решеток, в следствии изменяющегося периода записанной дифракционной структуры, происходит уширение угловой селективности относительно стандартной ГДС.

В данной работе применяются два метода формирования ГДС сформированных в ФПМ. Первым методом являлось формирование мультиплексированных ГДС путем последовательной записи трех решеток с углом разноса, способствующим объединению контуров селективности записываемых решеток по уровню -3 Дб. В результате дифракции света происходит увеличение ширины угловой селективности ГДС. Второй метод позволяет формировать чирпированные ГДС с изменяющимся периодом, угловая селективность таких структур также имеет уширение по сравнению со стандартными ГДС сформированными в ФПМ.

Работа объединяет эти два способа формирования ГДС в ФПМ, для увеличения полосы пропускания угловых и спектральных дифракционных характеристик ГДС.

Использование ГДС в совокупности с возможностью последовательной записи чирпированных структур в фотополимерных композиционных материалах, существенно увеличивает спектральные и угловые дифракционные свойства одиночных ГДС. Представленные результаты позволяют применить

полученные ГДС в дальнейшем для разработки оптических устройств связи, таких как, спектральные оптические фильтры, мультиплексоры/демультиплексоры [1-3].

Целью данной работы является экспериментальное исследование дифракционных характеристик, мультиплексированных чирпированных ГДС, сформированных в фотополимерном материале.

Экспериментальная установка. Образец состоял из одной ФПМ пленки «Bayfol HX 200» производства компании «Geola» с толщиной слоя 16±2 мкм и защитной пленки 40±1 мкм. Запись осуществлялась на длине волны 633 нм двумя пучками с апертурой 2 мм и мощностью по 0.9 мВт, падающими под углами градусов и общим временем записи *t*=28,5 с. Для чирпированной мультиплексированной ГДС было последовательно записано 3 голограммы под углами ψ = -6;0;6 градуса и временем записи *t*1=1,5 с, *t*2=2 с, *t*3=25 с [2].

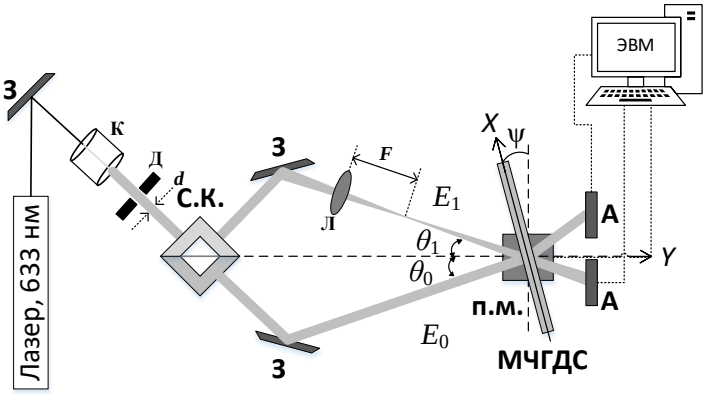


Рис. 1. Схема формирования мультиплексированной чирпированной ГДС: З – зеркало Л – линза, С.К. – светоделительный кубик, П.М. – поворотный механизм, К –коллиматор, А – анализатор лазерных пучков, ЭВМ – электронно-вычислительная машина

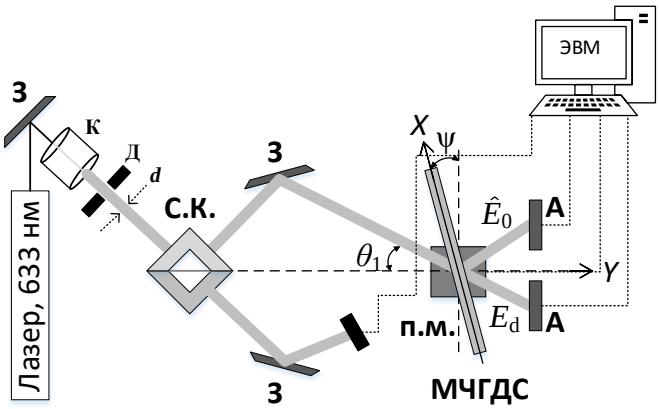
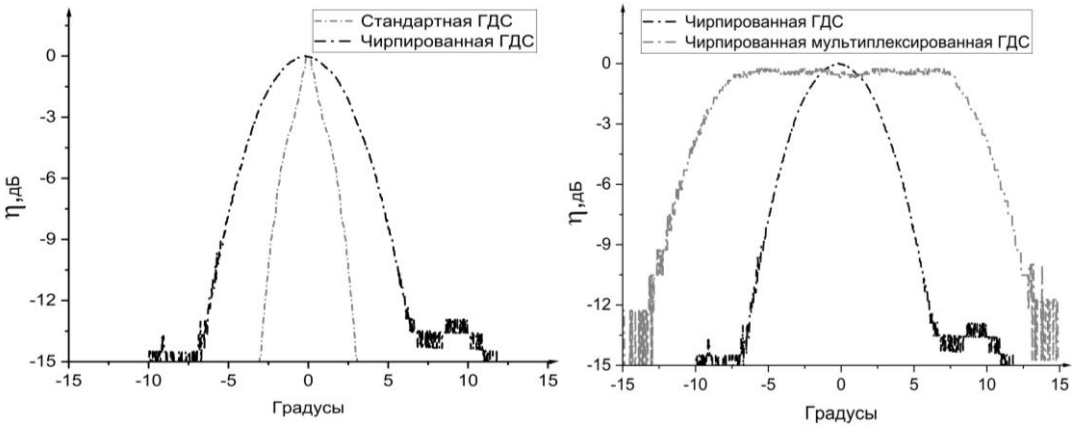


Рис. 2. Схема считывания мультиплексированной чирпированной ГДС: З – зеркало, С.К. – светоделительный кубик, П.М. – поворотный механизм, К –коллиматор, Ш – шторка, А – анализатор лазерных пучков, ЭВМ – электронно-вычислительная машина

Результаты. На рис. 3 (а, б) приведены нормированные относительно максимального значения зависимости дифракционной эффективности от угла поворота образца для одиночной и чирпированной ГДС, а также для мультиплексированной чирпированной ГДС.



а *б*

Рис. 3. Угловая селективность (а) стандартной и чирпированной ГДС и (б) чирпированной и мультиплексированной чирпированной ГДС

Как видно из рис. 3а, при формировании чирпированной ГДС ширина угловой селективности увеличивается более чем в 2 раза относительно стандартной ГДС., что обусловлено влиянием изменяющегося периода структуры. Из рис. 3б следует, что в результате последовательной записи чирпированных решеток происходит увеличение ширины спектральной и угловой селективности ГДС в 3 раза по сравнению с обычной чирпированной ГДС.

Заключение. В данной работе экспериментально показано формирование мультиплексированных чирпированных ГДС в ФПМ. Приведенные результаты экспериментального исследования показывают возможность совмещения методов последовательной записи и формирования чирпированных ГДС. В результате чего получено значительное увеличение ширины спектральной и угловой селективности ГДС сформированных в ФПМ.

Таким образом, в данном исследовании продемонстрировано, что запись мультиплексированных чирпированных ГДС позволяет достичь шестикратного увеличения ширины угловой селективности, что приводит к расширению полос пропускания угловой спектральной селективности стандартных одиночных ГДС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишова М.В., Жердев А.Ю., Лушников Д.С., Маркин В.В., Одиноков С.Б. Мультиплексные брэгговские дифракционные решетки для световодов системы дополненной реальности // HOLOEXPO 2020: XVII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям: Тезисы докладов. М. МГТУ им. Н. Э. Баумана. – Москва, 2020. – С. 253-263.
2. Довольнов Е.А., Шарангович С.Н. Нелинейная модель последовательной записи наложенных голографических решеток в фотополимерных композиционных материалах с учетом самодифракции на пространственных гармониках // Оптика и спектроскопия. – 2008. – Т. 105., № 2. – С. 336-345.
3. Dovolnov E.A., Sharangovich S.N., Sheridan J.T. Theoretical and experimental investigation of photopolymer chirped gratings formation // Photorefractive Effects, Materials, and Devices. Optica Publishing Group. – 2005. – P. 469-474.

УДК 519.163

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ДЕКОМПОЗИЦИИ ЗНАЧЕНИЙ АТРИБУТА «ОПИСАНИЕ» ЖУРНАЛА СОБЫТИЙ MOODLE

Н.С. Репьюк, Д.В. Кручинин

Научный руководитель: доцент, к.ф-м.н, Д.В. Кручинин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: rns@fb.tusur.ru

A SOFTWARE FOR DECOMPOSING THE VALUES OF THE "DESCRIPTION" ATTRIBUTE IN THE MOODLE EVENT LOG

N.S. Repjuk, D.V. Kruchinin

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D., D.V. Kruchinin

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: rns@fb.tusur.ru

Abstract. *This article discusses software for decomposing the values of the attribute "Description" of the previously considered tree AND/OR event log of one course of the Tomsk State University of Systems and Radioelectronics.*

Введение. В настоящее время цифровые технологии повсеместно используются в жизни человека. Все его действия в сети, смартфоне или компьютере, сообщения и т.д. – все это человек производит каждый день. Такой объем данных необходимо каким-то образом хранить и возникает проблема хранения большого объема архивных данных. В данной работе под архивными данными подразумеваются данные большого объема, которые необходимо хранить, но при этом они чаще всего они не обрабатываются.

Целью данной работы является описание работы программного обеспечения, написанного для более эффективного сжатия архивных данных ранее примененной идеи.

Экспериментальная часть. Хранение и обработка информации в электронном виде осуществляется с помощью баз данных. Для сжатия и хранения журнала событий одного электронного курса системы дистанционного обучения ТУСУР [1] была применена идея создания базы данных с помощью алгоритмов комбинаторной генерации, предложенная в [2]. Основная идея данного подхода заключается в том, что вместо хранения кортежей в реляционной базе данных используется хранение определенно заданного числа – ранга, которое формируется с помощью алгоритмов генерации и идентификации.

Исходный файл журнала событий содержит в себе информацию о процессе обучения потока студентов по одной дисциплине за один семестр. Данный файл имеет объем 5,24 МБ в формате XLSX и содержит в себе 116246 уникальных строк. В рассматриваемом журнале событий имеется 7 атрибутов, которые содержат в себе дублирование информации. Указанный выше подход позволяет избавиться от дублирования информации, что повысит эффективность сокращения объема занимаемой памяти.

Для применения данного подхода к хранению данных была составлена структура дерева И/ИЛИ для атрибутов журнала событий. Из всех атрибутов были выделены справочники с типовой информацией, которая хранилась в каждом из атрибутов.

Ранее применение метода ранжирования для составленного дерева И/ИЛИ дало следующий результат: удалось сократить объем изначального файла на 22%. При этом в ИЛИ-узле «Описание» (рис. 1) дерева И/ИЛИ обнаружилось 36514 уникальных потомков, которые представляют из себя описание событий с уникальными идентификаторами (ID) на русском и английских языках.

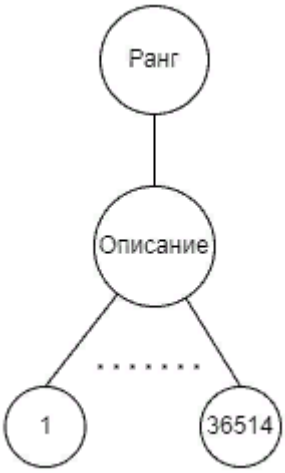


Рис. 1. Узел «Описание» дерева И/ИЛИ журнала событий

Для более эффективного сжатия файла было решено декомпозировать данный ИЛИ-узел на составные части, а именно на типовые шаблоны и уникальные идентификаторы пользователей и курсов. В результате этого узел «Описание» будет представлять собой ИЛИ-узел с потомками в виде И-узлов, каждый из которых представляет из себя типовой шаблон. У каждого такого шаблона будут потомки в виде ИЛИ-узлов с идентификаторами, которые будут храниться в отдельном справочнике. Все типовые шаблоны условно разбиты на 5 типов в зависимости от количества идентификаторов в них, а именно встречаются от 2 до 6 идентификаторов в различных шаблонах.

Для автоматизации процесса декомпозиции узла «Описание» было написано программное обеспечение на языке программирования C#. В данной программе используется регулярное выражение «(\+|\-)?*d*+» для поиска идентификаторов по типовой структуре. Уникальные идентификаторы представляют из себя как положительные, так и отрицательные числа, поэтому перед числовым значением может стоять один из символов, а именно + или −. Также могут встретиться идентификаторы, состоящие из одной или множества цифр, поэтому после терминального символа *d* в регулярном выражении стоит + для положительного замыкания. Положительное замыкание – это замыкание, при котором встречается хотя бы один символ.

После нахождения всех идентификаторов, они заменяются в изначальной строке на пустую строку и записываются отдельно в справочник уникальных идентификаторов. Изначальная строка записывается также в справочник с уникальными шаблонами.

Результаты. С помощью написанного программного обеспечения удалось сократить число потомков узла «Описание» (рис. 2) с 36514 до 201. Это означает, что уникальных типовых шаблонов, используемых в рассматриваемом журнале электронного курса, имеется всего 201. При этом количество уникальных идентификаторов равно 770.

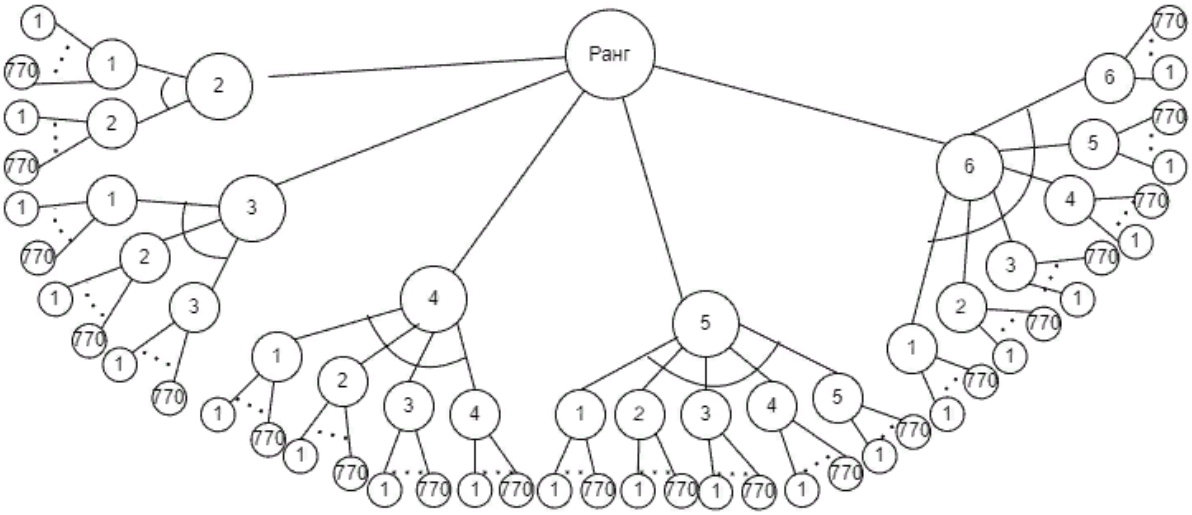


Рис. 2. Узел «Описание» дерева И/ИЛИ журнала событий после декомпозиции

Используя выделенные шаблоны для ранжирования записей удалось сократить изначальный файл на 31%, что доказывает эффективность применения написанного программного обеспечения для разбиения узла «Описание» на типовые шаблоны.

Заключение. В результате проведенного исследования подтвердилась эффективность написанного программного обеспечения для выделения уникальных шаблонов узла «Описание» дерева И/ИЛИ журнала событий и создания отдельного справочника с уникальными идентификаторами, которые присутствовали при описании выполненного действия в журнале событий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-71-10052.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система управления обучением ТУСУР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sdo.tusur.ru/ (дата обращения: 15.01.2023).
2. Кручинин В.В., Титков А.В., Хомич С.Л. Подход к созданию баз данных, основанный на алгоритмах генерации и идентификации кортежей // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309, № 8. – С. 28-31.

УДК 004.056

ТИПИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ В РАМКАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ УГРОЗ

Е.С. Романова, А.К. Новохрестов
Научный руководитель: доцент, к.т.н., А.А. Конев
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: elena.romanova.1999@mail.ru

TYPING OF DATA TRANSFER PROCESSES IN THE INFORMATION SYSTEM WITHIN THE FRAMEWORK OF THREAT MODELING

E.S. Romanova, A.K. Novokhrestov,
Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. A.A. Konev
Tomsk State University of Control system and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: elena.romanova.1999@mail.ru

Abstract. *the work is aimed at automating the process of obtaining a list of security threats aimed at the information system in the work processes of data transfer are considered, definitions for each process are presented. The typification of processes and the formalization of the list of basic data transfer processes are considered. Based on the presented typical data transmission processes, schemes of these processes have been developed that describe transmission channels and information carriers.*

Введение. Защита информации должна носить комплексный характер, поэтому необходимо учитывать возможность возникновения угроз, специфичных для конкретной информационной системы в целом и для ее этапов. При «моделировании угроз» необходимо учитывать особенности используемой информационной системы, поэтому так же встает задача моделирования самой системы и определения угроз каждого ее элемента. Данная научная работа направлена на построение моделей передачи данных.

Экспериментальная часть. В различных источниках, рассматривающих модели угроз, первостепенной задачей стоит рассмотрение объекта угрозы. При анализе различных источников был выделен список объектов защиты: Smart Grid [1], Process-oriented systems [2], Computer networks [3], Wireless Sensor Networks [4], Distributed systems [5]. Во всех представленных источниках объектом защиты является вся система в целом. При разговоре о передаче данных, нас интересуют именно объекты этого процесса – элементы вычислительной техники и линии связи, а не вся система. Объекты процесса связаны с каналами передачи информации, которые в свою очередь неразрывно связаны со средой передачи данных. В [6] представлены основные среды, где происходят действия с информацией. В данной работе передача данных рассматривается с точки зрения информационного процесса и в соответствии с Национальным стандартом Российской Федерации «Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. Основные термины и определения» информационный процесс включает в себя процесс создания, сбора, обработки, накопления, хранения, поиска, распространения и использования информации.

Результаты. Представим схемы процессов [7, 8], где: носители информации: V1 – бумажный носитель информации, V2 – человек, V3 – устройство хранения цифровой информации, V4 – процесс; каналы передачи информации: e1 – в визуальной среде, e2 – в акустической среде, e3 – в электромагнитной среде, e4 – в виртуальной среде; каналы удаленной передачи информации: e3` – в электромагнитной, а e4` – в виртуальной среде.

Сбор данных — это процесс получения информации из внешнего мира и приведение ее к виду, стандартному для данной информационной системы, деятельность субъекта, в ходе которой он получает сведения об интересующем его объекте. Помимо уже упомянутого, что процесс может осуществляться с позиции использования технических средств и без их использования, здесь так же стоит отметить новый вид процесса – «Человек-человек». Опрос людей: каналы – акустический, носитель информации – человек. Сбор информации из бумажных источников: каналы – визуальный, носитель информации – человек, бумага. Локальный сбор информации (рис. 1а): каналы передачи информации – e1 – экран устройства, e2 – динамики, e3 – устройство, e4 – операционная система компьютера; носитель информации – жесткий диск компьютера, ОЗУ. Дистанционный поиск информации (рис. 1б): каналы передачи информации – e1 – экран устройства, e2 – динамики, e3 – устройство, e4 – операционная система компьютера, e3 – электромагнитные каналы дистанционной передачи данных, e4` – протоколы передачи данных. Носитель информации – жесткий диск компьютера, ОЗУ.

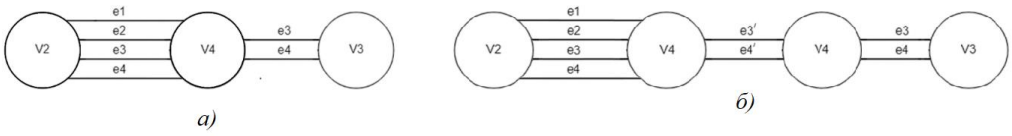


Рис. 1 Локальный сбор информации (а) и Дистанционный поиск информации (б)

Поиск информации – процесс выявления в некотором множестве источников всей информации, которая принадлежит указанной теме. Обработка информации – это целенаправленный процесс изменения формы ее представления или содержания. Хранение – это процесс поддержания исходной информации в виде, обеспечивающем выдачу данных по запросам конечных пользователей в установленные сроки. Под накоплением информации понимаем процесс формирования исходного, несистематизированного массива информации. Уточним, что накопление – процесс изменения исходных данных, это динамический процесс, в отличие от статического хранения, при котором информация не преобразуется как-либо. Распространение информации — процесс перемещения сообщений в пространстве в виде сигналов от одного объекта к другому. Человек – процесс: общение в мессенджерах/социальных сетях/ через электронную почту (рис. 2а) – каналы передачи информации – e1 – экран устройства, e2 – динамики, e3 – устройство, e4 – операционная система компьютера, e3 – электромагнитные каналы дистанционной передачи данных, e4` – протоколы передачи данных; носитель информации – человек, ОЗУ. Человек – накопитель: отправка письма (рис. 2б): источник информации – человек, носитель информации – бумажный носитель, канал передачи данных e1 – визуальный. Человек – Человек: переговоры (рис. 3а). Источник информации – человек, канал передачи данных e2 – акустический. Разговор по телефону (рис. 3б): каналы передачи информации –

e2 – динамики телефона, e3 – устройство, e4 – прошивка телефона, e3 – телефонные линии связи, e4` – телефонные протоколы; носитель информации – человек.

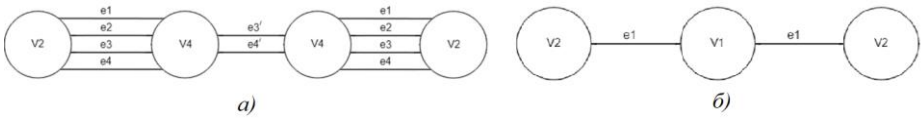


Рис. 2 Общение через Интернет (а) и написание/чтение письма (б)

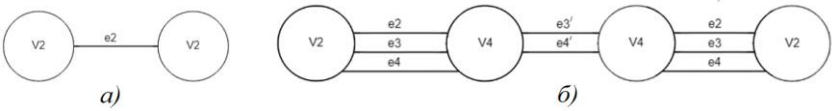


Рис. 3 Переговоры (а) и разговор по телефону (б)

Заключение. Работа направлена на автоматизацию процесса получения перечня угроз безопасности, направленных на информационную систему в работе рассмотрены процессы передачи данных, представлены определения для каждого процесса. Рассмотрена типизация процессов и формализация перечня основных процессов передачи данных. На основе представленных типовых процессов передачи данных разработаны схемы этих процессов, описывающие каналы передачи и носители информации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2023–2025 гг. (проект № FEWM-2023-0015).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rong Jiang; Rongxing Lu; Ye Wang; Jun Luo; Changxiang Shen; Xuemin Shen. (2014) Energy-Theft Detection Issues for Advanced Metering Infrastructure in Smart Grid. Tsinghua Science and Technology, no. 19, pp. 105-120.
2. Basin David A.; Doser Jürgen; Lodderstedt Torsten. (2003) Model driven security for process-oriented systems. SACMAT '03: Proceedings of the eighth ACM symposium on Access control models and technologies, pp. 100-109.
3. Anis Ben Aissa; IslamAbdalla; Loay F. Hussein; Ahmed Elhadad. (2020), A novel stochastic model for cybersecurity metric inspired by markov chain model and attack graphs. International Journal of Scientific & Technology Research, no. 9, pp. 6329-6335.
4. Torres J.M.; Comesana C.I.; Garcia-Nieto P.J. (2019) Machine learning techniques applied to cybersecurity. Springer Link: International Journal of Machine Learning and Cybernetics, no. 10, pp. 2823-2836.
5. Uzunov A.V.; Fernandez E.B.; Falkner K. (2012) Engineering security into distributed systems: A survey of methodologies. Journal of Universal Computer Science, no. 18, pp. 2920-3006.
6. Новохрестов А.К., Конев А.А., Шелупанов А.А., Егошин Н.С. Модель угроз безопасности информации и ее носителей // Вест. Иркут. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 21, № 10. – С. 93–104.
7. Novokhrestov A., Konev A., Shelupanov A., Buymov A. (November 2019) Computer network threat modelling. Journal of Physics: Conference Series, (EDCS 2019), no. 1488 (1), pp. 1-7. doi:10.1088/1742-6596/1488/1/012002
8. Egoshin N.S., Konev A.A., Shelupanov A.A. (2020) A Model of Threats to the Confidentiality of Information Processed in Cyberspace Based on the Information Flows Model. Symmetry, no. 12 (11), pp.1-18.

УДК 004.056.53

СОВМЕЩЕНИЕ АНАЛИЗА КЛАВИАТУРНОГО ПОЧЕРКА И ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ С МАНИПУЛЯТОРОМ МЫШИ

А.О. Сапунов

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Е.Ю. Костюченко

Томский университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: sanovta@yandex.ru

COMBINING KEYSTROKE RHYTHM ANALYSIS WITH MOUSE HANDLING INDIVIDUALITIES IN CONTINUOUS AUTHENTICATION

A.O. Sapunov

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD., E.Y. Kostyuchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: sanovta@yandex.ru

Abstract. *An accurate authentication method, continuous authentication is designed to check whether the person using the computer is a user authorized at any point in time. The paper considers the issues as to practicability of combining two continuous authentication methods, namely those associated with user's keystroke rhythm and mouse handling individualities.*

Введение. Компьютерные информационные системы используются повсеместно – крупные корпорации, государственные учреждения, малый бизнес. Информация, которую хранят эти системы, как правило, не должна быть в открытом доступе, и для этого предпринимают различные меры ее защиты. Незаменимым методом защиты информации является аутентификация – процедура проверки подлинности пользователя.

Долгое время аутентификация проходила при помощи парольной фразы (или просто пароля) – набора символов, которые пользователь предоставлял системе для того, чтобы получить к ней доступ. Однако, пароль уже давно не показатель безопасности – как бы сильно не завышали требования к его надежности, его все еще можно легко похитить или подобрать. От части, по этой причине и появилась биометрическая аутентификация - идентификация пользователя по его физическим (отпечаток пальца, сканер сетчатки глаза и др.) или поведенческим (клавиатурный почерк, особенности работы с манипулятором мыши и др.) признакам.

Экспериментальная часть. В настоящем обзоре рассмотрена возможность объединения методов аутентификации по клавиатурному почерку пользователя и по его особенностям работы с манипулятором мыши.

Биометрические системы, основанные на анализе клавиатурного почерка, имеют достаточный потенциал для практической реализации и распространения готового продукта в будущем [1], поэтому дополнение таких систем анализом работы пользователя с манипулятором мыши может сделать систему более защищенной без ущерба пользователям.

Результаты. Рассмотрены два подхода к продленной аутентификации пользователей, а именно:

1. Непрерывная идентификация пользователя на протяжении всего сеанса работы;
2. Периодическая идентификация пользователя в определенные промежутки сеанса работы.

Плюсы и минусы обоих методов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Плюсы и минусы подходов биометрической продленной аутентификации пользователей

Подходы	Плюсы	Минусы
Первый подход	Высокая точность аутентификации	Затрачивает очень много ресурсов
	Возможность быстро распознать злоумышленника	Возможна частая ошибочная блокировка пользователя
Второй подход	Высокая точность аутентификации	Затрачивает время пользователя
	Затрачивает мало ресурсов	Распознает злоумышленника не сразу, если произойдет подмена пользователя после авторизации
	Ошибочная блокировка пользователя маловероятна	

После того, как были проанализированы плюсы и минусы подходов, было решено использовать второй подход, т.к. он требует меньше ресурсов и хорошо подходит для задачи объединения анализа клавиатурного почерка и анализа особенностей работы с манипулятором мыши.

В качестве метода идентификации пользователей определен метод построения эталонов [2], в основу которого входит создание для каждого пользователя эталонных значений разных характеристик. Метод построения эталонов хорошо подходит для совмещения анализа клавиатурного почерка и особенностей работы с манипулятором мыши, т.к. позволяет впоследствии идентифицировать пользователя по многочисленным эталонным значениям. Для того, чтобы генерация эталонов была удобной и структурированной, было решено разбить систему на модули анализа клавиатурного почерка, и модуль анализа особенностей работы с манипулятором мыши.

В качестве модулей для анализа клавиатурного почерка выбраны модуль авторизации (ввода парольной фразы), который обеспечивает двухфакторную аутентификацию пользователя, и модуль печати (ввода текста с клавиатуры), который даст большее количество данных для составления эталонов и повысит точность анализа клавиатурного почерка.

В качестве модуля для анализа особенностей работы с манипулятором мыши выбран модуль, генерирующий в случайных точках специальной области маленькие квадраты, определенное количество которых пользователю потребуется нажать для его идентификации. Данный модуль даст возможность с высокой точностью определить авторизирующегося пользователя, т.к. позволяет отслеживать большое количество динамических характеристик.

На основе трех выбранных модулей будут генерироваться эталонные данные пользователей.

Для модулей анализа клавиатурного почерка решено анализировать следующие характеристики: среднее время удержания клавиши, количество наложений, количество ошибок при наборе, средняя продолжительность набора парольной фразы/текста, продолжительность интервалов между нажатиями клавиш.

Для модуля анализа особенностей работы с манипулятором мыши выбраны следующие характеристики: среднее время движения курсора от одного квадрата к другому, среднее количество разрывов в линии, среднее время удержания кнопки мыши.

В совокупности, выбранные характеристики предоставляют высокую информативность для генерации эталонных значений и позволяют избежать ошибки первого второго ряда.

Для генерации эталонов определены их погрешности. Минимальные и максимальные значение могут быть аномальными, т.е., случайными, поэтому было решено в качестве допустимых погрешностей использовать значения, которые идут перед ними.

Определены пользователи, которых нельзя допускать к работе с системой. Это пользователи:

- с травмой кисти или пальцев рук;
- эмоционально не стабильные;
- с плохим самочувствием;
- больные простудой или подобными диагнозами, даже если хорошо себя чувствуют.

Определено главное требование к системе с продленной аутентификацией - наличие одних устройств ввода как для создания эталонов, так и для дальнейшей идентификации пользователя.

Заключение. Как анализ клавиатурного почерка, так и анализ особенностей работы с манипулятором мыши позволяют идентифицировать пользователя с крайне высокой точностью, поэтому их объединение может привести к потере вероятности ошибок первого и второго рода [3]. Изучение литературы помогло определить, что лучшим выбором для данной задачи будет разработать модульное приложение, генерирующее базу эталонных данных пользователей, которое в последствии будет внедрено в систему с защищаемой информацией и позволит периодически идентифицировать пользователей на рабочем месте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко А.В., Сулавко А.Е. Двухфакторная аутентификация пользователей компьютерных систем на удаленном сервере по клавиатурному почерку // Журнал прикладной информатики. – 2015. – №6 (60). – С. 48-59.
2. Стародубов К.В., Громов Ю.Ю. Усовершенствование идентификации пользователей по клавиатурному почерку // NBI-technologies. – 2017. – Vol. 11, N 4. – С. 6-10.
3. Аюпова А.Р., Якупов А.Р., Шабалкина А.А. Аутентификация по клавиатурному почерку: выгоды и проблемы использования // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 12(66). – С. 55-58.

УДК 621.391.825

ОПТИМИЗАЦИЯ АСИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С ЛИЦЕВОЙ СВЯЗЬЮ ПО АМПЛИТУДНОМУ КРИТЕРИЮ С УЧЕТОМ КОМБИНАЦИОННЫХ ИМПУЛЬСОВ

А.С. Сарыглар, Е.Б. Черникова

Научный руководитель: к.т.н. Е.Б. Черникова

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: aizasaryglar02@gmail.com

OPTIMIZATION OF ASYMMETRIC MODAL FILTER WITH BROAD-SIDE COUPLING BY THE AMPLITUDE CRITERION TAKING INTO ACCOUNT COMBINATIONAL PULSES

A.S. Saryglar, E.B. Chernikova

Scientific Supervisor: PhD. E.B. Chernikova

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: aizasaryglar02@gmail.com

Abstract. *The paper presents the results of cross section parameter optimization of asymmetric modal filter with broad-side coupling. At the near end of the passive conductor of the investigated MF is open circuit, and at the far end is short circuit. The maximum amplitude in this structures is determined by the amplitude of the combinational pulses (the delays of which consist of a combination of modal delays). Therefore, the optimization was performed according to the amplitude criterion, taking into account the combinational pulses. The obtained parameters allow to minimize the maximum amplitude at the MF output.*

Введение. В последние годы использование радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и приборов становится все более актуальным и распространенным в различных сферах. Важной проблемой, возникающей в условиях эксплуатации большого количества РЭА, становится необходимость обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС). Главной задачей ЭМС является обеспечение помехозащищенности РЭА. Помехи, проникающие в РЭА непосредственно по проводникам, например, через сигнальные проводники или через цепи питания, называются кондуктивными [1]. Одним из опасных видов кондуктивных помех являются сверхкороткие импульсы (СКИ) [2]. Для защиты от воздействия СКИ разрабатываются устройства, названные модальными фильтрами (МФ).

В [3] анализируется асимметричный МФ с лицевой связью, во временном отклике которого обнаружены импульсы с задержками некратными погонным. В [4] получено, что такие импульсы состоят из комбинаций погонных задержек мод. Однако оптимизации структур с учетом комбинационных импульсов ранее не выполнялось. Цель работы – выполнить оптимизацию асимметричного МФ с лицевой связью по критерию минимизации максимальной амплитуды с учетом комбинационных импульсов.

Экспериментальная часть. Поперечное сечение асимметричного МФ показано на рис. 1а. Исходные значения параметров: w = 15 мм, t = 0,105 мм, s = 15 мм, h = 6 мм, ε_r = 4. Схема соединения представлена на рис. 1б. Результаты получены для схемы с согласованными нагрузками (значения резисторов равны среднему геометрическому значению волновых сопротивлений четной (Z_e) и нечетной

(Z_o) мод) в начале и конце активного проводника, и холостой ход (ХХ) в начале и короткое замыкание (КЗ) в конце пассивного проводника.

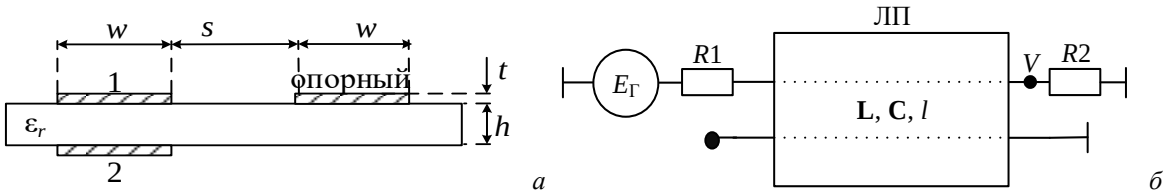


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и схема соединения (б) асимметричного МФ с лицевой связью

Результаты. Оптимизация выполнялась по критерию минимизации максимальной амплитуды с учетом комбинационных импульсов. Для этой цели использовался простой генетический алгоритм (ГА), реализованный в ПО TALGAT. Для достижения амплитудного критерия использовалась целевая функция, которая будет подвергаться минимизации. Оптимизация выполнялась при двух наборах параметров ГА: в первом случае число особей (n) – 10; количество поколений (m) – 50; коэффициент мутации – 0,1; коэффициент кроссовера - 0,5; число бит для кодирования каждого параметра – 16, а во втором случае, n – 20; m – 50. При оптимизации выполнялось 5 запусков ГА. В табл. 1 представлены результаты оптимизации при n=10, m=50, а также значения U_{max} и общее время расчета, а в табл. 2 при n = 20, m = 50. Диапазоны оптимизируемых параметров: w – от 1 до 5 мм; s – от 1 до 5 мм; h – от 0,1 до 0,5 мм. Лучшие результаты выделены полужирным.

Таблица 1

Результаты оптимизации асимметричного МФ с лицевой связью при n = 10, m = 50

№ запуска ГА	w, мм	s, мм	h, мм	U_{max}, В	Время, с
1	1,92235	0,946667	0,10549	0,0580028	2598,98
2	1,80941	1,0	0,11098	0,0608248	2655,87
3	1,70353	0,868235	0,1	0,0605212	2822,49
4	1,95059	0,77098	0,1	0,058828	2883,95
5	**1,97176**	**0,968628**	**0,10549**	**0,0571607**	**3131,66**
Отклонение, %	4,3	8,0	3,4	2,2	5,4

Таблица 2

Результаты оптимизации асимметричного МФ с лицевой связью при n = 20, m = 50

№ запуска ГА	w, мм	s, мм	h, мм	U_{max}, В	Время, с
1	1,99294	0,971765	0,1	0,0547014	14509,8
2	2,0	0,990588	0,1	0,0545177	14225
3	1,96471	0,978039	0,1	0,0547744	14767,8
4	**2,0**	**1,0**	**0,1**	**0,0543533**	**15195,1**
5	2,0	0,996863	0,1	0,0544178	14099,3
Отклонение, %	0,5	1,0	0	0,3	2,3

В результате, для n = 10, m = 50 оптимальные параметры, при которых значение U_{max} минимально (U_{max} = 57 мВ) получены при запуске 5: w = 1,97176 мм; s = 0,968628 мм; h = 0,10549 мм. Оптимизация с увеличенным числом особей (n = 20, m = 50) позволила получить более точные значения параметров, при которых U_{max} = 54 мВ (запуск 4): w = 2 мм; s = 1 мм; h = 0,1 мм. В итоге, получено, что увеличение числа особей и поколений позволило получить наилучший вариант, при котором значение U_{max} на выходе

МФ минимальна. Стоит отметить, что значение U_{max} определяется амплитудой комбинационных импульсов. На рис. 2 представлен временной отклик, полученный с наилучшим вариантом параметров.

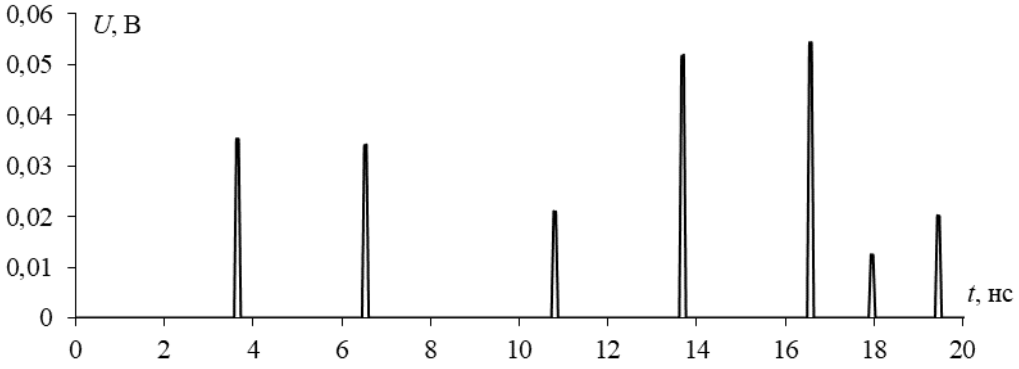


Рис. 2. Форма напряжения на выходе асимметричного МФ с лицевой связью с оптимизированными параметрами

Таким образом, выполнена параметрическая оптимизация асимметричного МФ с лицевой связью по амплитудному критерию с учетом комбинационных импульсов. В результате, получены параметры *w*=2,0 мм; *s*=1,0 мм; *h*=0,1 мм, позволяющие минимизировать максимальную амплитуду на выходе МФ с учетом комбинационных импульсов до 54 мВ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-19-00424. https://rscf.ru/project/19-19-00424/ в ТУСУРе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gizatullin, Z.M., Gizatullin, R.M. Investigation of the immunity of computer equipment to the power-line electromagnetic interference // J. of Communications Technology and Electronics. – 2016. - № 5. – P. 546-550. doi: 10.1134/S1064226916050053.
2. Mora, N., Vega, F., Lugrin, G., Rachidi, F., Rubinstein, M. Study and classification of potential IEMI sources // System and assessment notes. – 2014. – № 41. – P.1-93.
3. Gazizov, A.T., Zabolotsky, A.M., Gazizov, T.T. Time-domain response of asymmetrical modal filter without resistors to ultrashort pulse excitation // 17th International conference on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – 2016. – P. 85-88.
4. Belousov A.O., Chernikova E.B., Samoylichenko M.A., Medvedev A.V., Nosov A.V., Gazizov T.R., Zabolotsky A.M. From Symmetry to Asymmetry: The Use of Additional Pulses to Improve Protection against Ultrashort Pulses Based on Modal Filtration // Symmetry. – 2019. – Vol. 11(7)., № 883. – P. 1-38

УДК 004.414.3

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА КОГНИТИВНО-ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОГРАММНОМУ СРЕДСТВУ

Т.С. Симонов, А.Г. Тишаева, А.М. Рахлевский

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Т.О. Перемитина

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

Сибирский государственный медицинский университет

Россия, г. Томск, Московский тракт, 2, 634050

Санкт-Петербургский государственный университет

Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, 199034

E-mail: tim.sim4@yandex.ru

ANALYSIS OF THE COGNITIVE BEHAVIORAL THERAPY PROCESS TO DESIGN FUNCTIONALITY FOR AN APP

T.S. Simonov, A.G. Tishaeva, A.M. Rakhlevskii

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. T.O. Peremitina

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

Siberian State Medical University, Russia, Tomsk, Moskovsky tract, 2, 634050

Saint-Petersburg State University, Russia, St. Petersburg, Universitetskaya emb., 7/9, 199034

E-mail: tim.sim4@yandex.ru

Abstract. *In the paper, we consider approaches to cognitive behavioral therapy (CBT) as to a business process for psychologists. CBT specialists' interviews are then analyzed to gaining evidence of decrease in the efficacy of their working process. Given the evidence, the functional requirements to a CBT backing software are proposed.*

Введение. В современном мире люди уделяют повышенное внимание своему психическому здоровью, так как стресс и тревожность негативно сказываются на качестве жизни [1, с. 58]. В связи с этим происходит актуализация различных форм оказания психологической помощи и диагностики психического состояния – очных сессий, онлайн-платформ и мобильных приложений. Такой формат делает психотерапию более доступной для людей (клиентов), нуждающихся в психологической помощи.

Одним из наиболее популярных видов психотерапии сейчас является когнитивно-поведенческая терапия (КПТ) и её различные формы [2]. КПТ нацелена на формирование у клиента новых поведенческих привычек при помощи выявления и проверки когнитивных ошибок [3, с. 190]. Психотерапия включает в себя как встречи клиента с психологом, так и его самостоятельную работу. При этом клиент производит оплату за каждый сеанс, вследствие чего стоимость терапии напрямую зависит от количества проведённых сеансов. На сегодняшний день уже существует ряд программных продуктов сопровождающих процесс КПТ, в связи с чем актуальной является задача определения функциональных требований к КПТ-ориентированному программному средству, что и стало целью

данной работы. Объектом исследования является рынок программных средств сопровождения КПТ в разрезе их применения психологами. Предметом исследовательского интереса выступает процесс КПТ.

Экспериментальная часть. В рамках данного исследования был проведён анализ теоретико-методологических подходов к процессу КПТ и интервью с практикующими специалистами. Выборка составила одиннадцать (*n*=11) человек со средним стажем работы в сфере 5,7 лет. Большинство специалистов (82%) для проведения сессий с клиентами использовали как онлайн, так и очный формат, и только двое предпочитали исключительно дистанционную форму. Участники выразили своё согласие на анализ и представление их ответов в данной работе в анонимизированном виде. В ходе анализа были выявлены основные этапы и сроки терапии, а также используемые инструменты. Затем был проведён обзор аналогов и с учётом указанных выше интервью были сформулированы функциональные требования к новому программному средству. Было определено, что процесс КПТ у разных специалистов строится схожим образом. Он включает в себя знакомство, психообразование, проработку проблемы. В ходе знакомства психолог рассказывает об основных этапах психотерапии и получает первичную информацию о проблемах клиента. Если проблемы подходят психологу и клиент согласен на работу, психолог выясняет цели клиента, подробнее узнаёт о проблемах. Затем психолог проводит психообразование (объясняет основные принципы КПТ), которое может занимать до 4 сеансов при низком уровне подготовки клиента. Только после этого начинается проработка проблем, в рамках которой клиент выполняет упражнения под контролем психолога. Периодически проводится тестирование состояния клиента. В ходе интервьюирования также было выяснено, что проработка занимает в среднем 10-12 сеансов, в неклинических случаях весь процесс терапии может ограничиться 4 сеансами, если клиент успешно освоит навыки и сможет применять их самостоятельно. В конце психотерапии подводятся итоги, даются рекомендации по профилактике. На данный момент существуют программные продукты, которые позволяют автоматизировать некоторые этапы КПТ. К ним относятся Android-приложение «СМЭР-Дневник», КПТ-бот в Телеграм и сайты с психологическими тестами. КПТ бот предполагает психообразование и самостоятельную работу пользователя без психолога. «СМЭР-Дневник» включает в себя основы КПТ и функционал для ведения дневника. Это приложение использовалось некоторыми клиентами при работе с опрошенными психологами. Тесты с автоматизированной проверкой разбросаны по различным порталам и нуждаются в предварительной проверке. Именно поэтому 82 % (9/11) опрошенных специалистов предпочитали для целей выполнения тестов предлагать клиентам программы, подобные Microsoft Office, эти же программы 11 из 11 специалистов использовали для письменных заданий на сессиях, комбинируя их с подходом заполнения тестов и письменных заданий «от руки» (64 % и 82 % соответственно). Таким образом, не было обнаружено ни одного программного продукта, который включал бы в себя полный комплекс необходимых для психолога и клиента средств, сопровождающих КПТ. Анализируя результаты интервью методом контент-анализа, были сформулированы причины, снижающие эффективность процесса КПТ. Далее приводятся выборочные оценки укрупнённых ответов психологов, ранжированные ими по шкале от 1 до 10 (с целым шагом). Каждому выделенному укрупнённому ответу соответствует сформулированная исследователями причина. Первой причиной снижения эффективности КПТ было определено частое несоответствие проблем клиента профилю психолога. Во-вторых, в процессе обработки интервью была выделена низкая готовность клиентов к терапии: значительная доля времени

КПТ тратилась на психообразование. При этом была обнаружена линейной взаимозависимость между легкостью донесения принципов КПТ и уровнем принятия ответственности клиентами. Чем легче проходил процесс психообразования, тем ответственнее, по оценкам психологов, их клиенты подходили к процессу КПТ (выборочный коэффициент ранговой корреляции Спирмена $\rho^* = 0{,}72$ значим на уровне $\alpha = 0{,}05$, $t = 3{,}10 \sim t\,(n\text{-}2)$, t – статистика критерия из распределения Стьюдента; применение данной оценки корреляции уместно в случае малых выборок без подтверждения того, что они взяты из нормального распределения [4, с. 184]). В-третьих, было обнаружено отсутствие автоматизации рутинных действий (тесты и письменные задания часто проверялись вручную). Косвенно эта причина неэффективности КПТ поддерживается корреляцией между оценками удобства проверки тестов и удовлетворённостью психологов обратной связью от клиентов, коэффициент $\rho^* = 0{,}62$ значим на уровне $\alpha = 0{,}05$, $t = 2{,}39$. Удовлетворённость обратной связью повышалась вследствие применения хотя бы простейших автоматизаций работы психологами, что отражалось на повышении оценок удобству проверки тестов. Удобство, в свою очередь, могло положительно отражаться в обратной связи от клиентов, повышая удовлетворённость ею психологов. Интересен тот факт, что параметр «удовлетворённость обратной связью» также положительно коррелировал с оценками «легкости процесса психообразования» ($\rho^* = 0{,}73$ значим на уровне $\alpha = 0{,}05$, $t = 3{,}20$). В свете этого очевидной становится проблема времязатратности донесения клиентам принципов КПТ. Другими причинами также были сформулированы как «отсутствие специального канала связи между клиентом и психологом», «недостаточная вовлечённость клиента в процесс КПТ» и «отсутствие помощи во время выполнения самостоятельных заданий».

Результаты. На основании изложенного выше были разработаны следующие функциональные требования к приложению для сопровождения КПТ: возможность подбора психолога, психообразование (предварительная самостоятельная подготовка клиента позволит сократить время психообразования с психологом), диагностика (для сокращения времени, уходящего на проверку тестов с помощью автоматизации), выполнение упражнений и отправка их психологу, подсказки при выполнении упражнений, напоминания о заданиях для самостоятельной практики, просмотр психологом заявок на терапию от клиентов и ответа на них, просмотр психологом профилей с информацией о клиентах, проверка выполненных клиентами заданий, получение результатов тестов, пройденных клиентами.

Заключение. В результате исследования был предпринят анализ теоретических и методологических подходов к КПТ, интервью с практикующими психологами, обзор существующих аналогов. В результате были выявлены и обоснованы с использованием методов статистического анализа причины, снижающие эффективность процесса КПТ, сформулированы требования для программной системы, включающей в себя функционал для совместной работы клиента и психолога.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грехов Р.А., Сулейманова Г.П., Адамович Е.И. Роль тревоги в психофизиологии стресса // Вестник ВолГУ. Сер. 11: Естественные науки – 2017. – Т. 7, № 1. – С. 57-66.
2. Hayes S.C., Hofmann S.G. The third wave of cognitive behavioral therapy and the rise of process-based care // World Psychiatry. – 2017. – № 16 (3). – P. 245-246. – DOI: https://doi.org/10.1002/wps.20442.
3. Соколова, Е.Т. Психотерапия: учеб. для вузов. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2020. – 359 с.
4. Haslwanter T. An Introduction to Statistics with Python. – Cham : Springer, 2020. – 278 p.

УДК 537.9

ИЗМЕРЕНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО И ТЕПЛОВОГО ШУМА РЕЗИСТИВНЫХ ПЛЕНОК

В.А. Сокуренко

Научный руководитель: доцент д.т.н., Ю.В. Сахаров

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: sokurenko.sl.08@mail.ru

MEASUREMENT OF LOW-FREQUENCY AND THERMAL NOISE OF RESISTIVE FILMS

V.A. Sokurenko

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Dr. Y.V. Sakharov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Linin str., 40, 634050

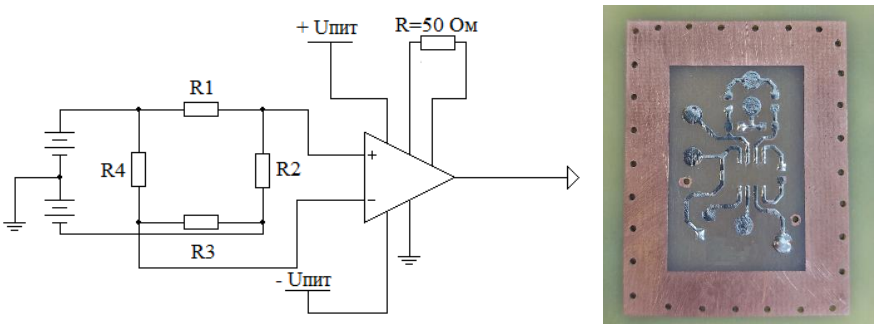
E-mail: sokurenko.sl.08@mail.ru

Abstract. *This article presents the results of measuring the low-frequency and thermal noise of resistive films with a resistance of 240 kOhm at various levels of supply voltage. The results of this work will be used to analyze the latent defects of resistive films in the future work.*

Введение. Актуальной проблемой на сегодняшний день остается разработка методов повышения надежности и отказоустойчивости приборов электронной техники, применяемых в военной и космической отрасли. Одной из причин, приводящих к снижению срока службы компонентов, является наличие скрытых дефектов, поэтому обнаружение и устранения дефектов является важной задачей. Одним из способов анализа структуры является измерение шумовых параметров твердых тел, а именно измерение теплового шума Джонсона и низкочастотного шума [1]. Целью данной работы является отработка методики измерения низкочастотного и теплового шума резистивных пленок и её дальнейшее применение для обнаружения скрытых дефектов структуры.

Экспериментальная часть. Для получения шумовых амплитудно-частотных характеристик была собрана схема представленная на рисунке 1 (а). Исследуемые образцы с сопротивлением уровнях питающего двухполярного напряжения, а также обеспечить дополнительную помехоустойчивость компонентов [2]. Двухполярное питание, на основе NiMH батареек типа AA, с рабочим напряжение (1,2 – 3,6) В применялось для минимизации вклада посторонних шумов в результат измерении. В качестве основного измерительного узла применялся инструментальный усилитель AD620.

Монтаж элементов осуществлялся на двухстороннем стеклотекстолите, с разведенной схемой представленной на рисунке 1 (б), что позволило дополнительно осуществить защиту от внешних электромагнитных помех и наводок. Нижняя часть печатной платы была задействована для заземляющего полигона и при помощи переходных отверстии по периметру медного контура была осуществлена связь с верхней стороной платы для установки защитного корпуса. Кроме указанных на рисунке элементов в схеме были установлены сглаживающие фильтры по питанию в связке электролитических и керамических конденсаторов 4,7 и 0,1 мкФ.



(а) (б)

Рис. 1. Экспериментальная установка измерения низкочастотного и теплового шума (а) с разводкой печатной платы (б)

Выход усилителя был подключен к пассивному RC фильтру низких частот, в диапазоне частот 1 кГц. Выходное напряжение после фильтра измерялось при помощи осциллографа.

Результаты. Среднеквадратичная величина флуктуаций, вызванная шумом Джонсона для образцов с активным сопротивлением R в диапазоне частот Δf, определяется формулой Найквиста [3] (1):

$$U_{ш} = \sqrt{4kTR\Delta f},$$

где k – постоянная Больцмана; T – температура образца; R – сопротивление образца; Δf – диапазон частот.

Измеренное значение теплового шума определялось по следующей формуле:

$$U_{ш.тепл} = U_{ш} / K_{u}\Delta f$$

где $U_{ш}$ – измеренное осциллографом напряжение шума с выхода усилителя; K_{u} – коэффициент усиления.

На рисунке 2 представлена экспериментальная и теоретическая зависимость теплового шума от частоты для резистора с сопротивлением 240 кОм. Как видно из рисунка 2 теоретическая и экспериментальная зависимость различается в 1,5 раза, что является допустим из-за наличия контактных шумов, погрешности средств измерения и не идеальности экранирования.

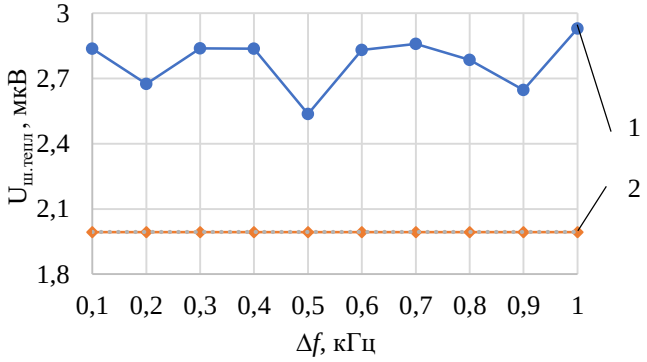


Рис. 2. Зависимость тепловых шумов пленочных резисторов от частоты образца с сопротивление

Расчет спектральной плотности низкочастотного шума проводился по экспериментальным данным согласно формуле (3):

$$U_{ш.\,нч} = \frac{\sqrt{U_2^2 - U_1^2}}{U_0\sqrt{\Delta f}}$$

где U_2 – показания осциллографа при подаче питания через мост Уинстона; U_1 – показания осциллографа при отсутствии питания через мост Уинстона; U_0 – падение напряжения на резисторе.

Использование выше приведенной формулы позволяет исключить из результата измерения шум Джонсона и шум операционного усилителя [4]. На рисунке 3 представлена экспериментальная зависимость спектрального напряжения низкочастотного шума от частоты.

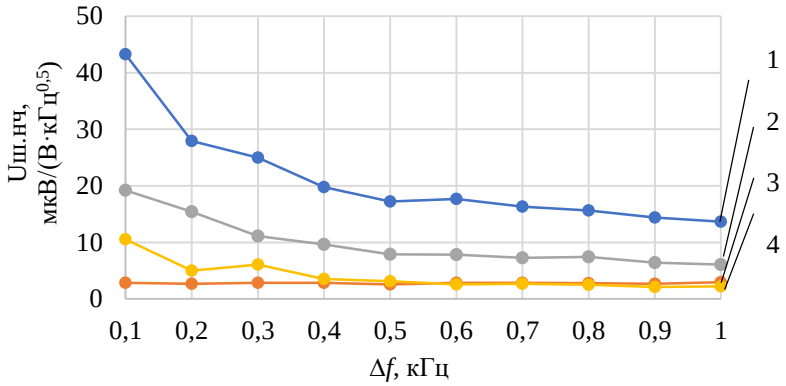


Рис. 3. Спектральная плотность напряжения низкочастотного шума резистора с сопротивлением R=240 кОм: 1 – U_0 =3,6 В; 2 – U_0 =2,4 В; 3 – U_0 = 1,2 В; 4 – Тепловой шум Джонсона

Возможной причиной роста низкочастотного шума с изменением частоты и напряжения является изменение распределения примеси и рост механический напряжений в пленке [5].

Заключение. Применяемые компоненты и методы проведения эксперимента по определению шума Джонсона и низкочастотного шума пленок показали хорошую достоверность с теоретическими расчетными данными и данными других авторов по подобной тематике. В дальнейших работах приведенная методика будет использоваться для анализа внутренних дефектов структуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта FEWM–2022–0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

кубович Б.И. Электрический низкочастотный шум и дефекты структуры твердых тел // Успехи прикладной физики. – 2013. – Т. 1, № 3. – С. 259–267.

2. Walter B. Review on Excess Noise Measurements of Resistors [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.researchgate.net/publication/367220764.html. (дата обращения: 09.03.2023)

артюшов К.И., Зайцев Ю.В. Технология производства резисторов: учебное пособие для специальности «Полупроводники и диэлектрики». – М.: Высшая школа, 1972. – 312 с.

етоды измерения параметров элементов пленочных микросхем / Под ред. В. Лукина. – М.: Советское радио, 1967. – 363 с.

кубович Б.И. О природе избыточного низкочастотного шума (обзор) // Успехи прикладной физики. – 2016. – Т. 4, № 2. – С. 127–138.

УДК 004.934.2

СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЛАСНЫХ ЗВУКОВ РУССКОГО И АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКОВ

В.И. Федосеев

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.А. Конев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, проспект Ленина, 40, 634050

E-mail: fedoseev-vi@yandex.ru

RUSSIAN AND ENGLISH VOWEL PARAMETERS COMPARISON

V.I. Fedoseev

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. A.A. Konev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: fedoseev-vi@yandex.ru

Abstract. *In multilingual speech recognition systems, a situation can often arise when the language is not known in advance, but the signal has already been received and is being processed. For such cases, some generalized model is needed that will be able to respond to phonetic differences and, depending on them, correctly recognize speech in the desired language. To build such a model, it is necessary to set the values of phonetic parameters, and then compare similar sounds, establishing significant differences.*

Введение. В русской фонетике выделяют шесть гласных звуков [а], [о], [у], [и], [э] и [ы]. На их звучание оказывают влияние ударная-безударная позиция в слове и другие граничащие звуки. Для всех звуков, кроме [ы] существует четыре вариации соседних звуков: твёрдый-твёрдый, мягкий-твёрдый, твёрдый-мягкий, мягкий-мягкий. Также стоит отметить, что «твёрдый» в данных комбинациях значит не только твёрдый согласный звук, но и любой гласный или отсутствие звука. Поэтому же мы можем иметь такие звуки, как [и] между твёрдым и твёрдым, а также [и] между твёрдым и мягким, как, например, в слове «иволга» или в простом союзе «и».

В данной работе будут рассматриваться только гласные ударные звуки во всех возможных позициях. Таким образом для русской фонетики будут рассматриваться 22 звука. Выборка содержит 5 дикторов мужского и 5 дикторов женского пола.

Для фонетики английского языка выделяют 20 гласных звуков, среди которых краткие ([i], [u], [ʌ], [ɔ], [ə], [e], [æ]), длинные ([i:], [u:], [a:], [ɔ:], [ə:]) и дифтонги ([iə], [uə], [ai], [ɔi], [əu], [eə], [au], [ei]). На произношение этих звуков, в отличие от русского языка не влияет положение между соседними звуками и ударение. Соответственно для английского языка будет рассмотрено 20 вышеуказанных звуков. Выборка имеет аналогичный размер: 5 дикторов-мужчин и 5 дикторов-женщин.

В литературе приводятся модели для русских и английских звуков (рис 1) [1]. Исходя из них будем устанавливать соответствие измерений действительности. Также будем сравнивать данные между собой.

Рис. 1. Формантная картина для звуков русской фонетики и схема качественных значений гласных звуков для стандартного британского произношения

Экспериментальная часть. Для сравнения звуков были использованы графиками гармоник или же формантными картинами. Обработка сигналов осуществлялась на основе программного комплекса, описание которого представлено в [2, 3]. Здесь выделяются первая и вторая гармоники для двух интервалов частот: 60-750 Гц и 750-2500 Гц.

Результаты. В рамках экспериментальной части были выявлены следующие закономерности (таблица 1-2) и проведены сравнения (таблица 3).

Таблица 1

Закономерности расположения гармоник для русских гласных ударных звуков

Положение	Закономерность
Между двумя твёрдыми	Пониженные значения гармоник в верхнем диапазоне.
Между твёрдым и мягким	Восходящий характер значений гармоник в верхнем диапазоне.
Между мягким и твёрдым	Нисходящий характер значений гармоник в верхнем диапазоне.
Между двумя мягкими	Повышенные значения гармоник в верхнем диапазоне.

Таблица 2

Закономерности расположения гармоник для русских гласных ударных звуков

Звук	Закономерность
[а]	Ч-ты гармоник в ниж. диапазоне – 200-750 Гц. 1-я гармоника часто над 2-ой. Ч-ты гармоник в верх. диапазоне 800-900 Гц для 1-ой гармоники, 1000-1200 Гц для 2-ой г-ки.
[о]	Ч-ты гармоник в ниж. диапазоне – 400-600 Гц. 1-ая гармоника часто над 2-ой. Ч-ты гармоник в верх. диапазоне 800-950 Гц для 1-ой гармоники, 1900-2200 Гц для 2-ой г-ки.
[и]	Ч-ты гармоник в ниж. диапазоне – 200-400 Гц. 1-ая гармоника под 2-ой. Ч-ты гармоник в верх. диапазоне 1750-1850 Гц для 1-ой гармоники, 2200-2400 Гц для 2-ой г-ки.
[ы]	Ч-ты гармоник в ниж. диапазоне – 200-400 Гц. 1-ая гармоника под 2-ой. Ч-ты гармоник в верх. диапазоне 800-1300 Гц. Картина имеет выпуклую вверх форму.
[у]	Ч-ты гармоник в ниж. диапазоне – 300-600 Гц. 1-ая гармоника под 2-ой. Ч-ты гармоник в верх. диапазоне 800-1100 Гц. 1-ая гармоника под 2-ой.
[э]	Ч-ты гармоник в ниж. диапазоне – 450-650 Гц. 1-ая гармоника над 2-ой. Ч-ты гармоник в верх. диапазоне 1550-1700 Гц для 1-ой гармоники, 2100-2400 Гц для 2-ой г-ки.

Таблица 3

Сравнение параметров звуков английской фонетики (длинные, краткие, дифтонги) со звуками русской фонетики

Английский звук	Предполагаемый русский звук	Степень схожести, различия
[a:]	[а]	Сх-во однозначное.
[ɔ:]	[о]	Сх-во однозначное.
[i:]	[и]	Сх-во однозначное.
[u:]	[у]	Сх-во частичное, так как в верхнем диапазоне значения явно завышены.
[ə:]	[о] или [э]	Сх-во с полученными значениями, но расхождение с «книжной моделью».
[i]	[и]	Сх-во однозначное.
[u]	[у]	Сх-во частичное: завышенные значения в нижнем диапазоне.
[ʌ]	[а]	Сх-во частичное: неоднозначная картина гармоник в нижнем диапазоне.
[ɔ]	[о]	Сх-во однозначное.
[ə]	[э], [о], [а]	Сх-во отсутствует.
[e]	[э]	Сх-во частичное: неоднозначная картина гармоник в нижнем диапазоне, заниженные значения в нижнем диапазоне.
[æ]	[э]	Сх-во однозначное.
[iə]	[и] + ([э] или [а])	Сх-во неоднозначное: звук выглядит, как «слияние» [и] и [э], а не как переход из одного звука в другой.
[uə]	[у] + [э]	Сх-во частичное: неоднозначная картина гармоник в нижнем диапазоне.
[ai]	[а] + [и]	Сх-во однозначное.
[ɔi]	[о] + [и]	Сх-во однозначное.
[əu]	([э] или [о]) + [у]	Сх-во частичное: звук больше похож на [о], чем на [у].

Заключение. В результате работы был произведён анализ значений формант (гармоник) гласных звуков русского и английского языков. Были установлены закономерности изменения характеристик в зависимости от положения звука в слове, а также установлена взаимосвязь между звуком и его гармонической картиной. В дальнейшем планируется применить полученные знания и методику для разработки программного инструмента, позволяющего производить автоматический анализ звукового сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Златоустова Л.В. Общая и прикладная фонетика. – 2-е издание, переработанное и дополненное. - М.: Издательство Московского университета, 1997. – 402с.
2. Конев А.А. Модель и алгоритмы анализа и сегментации речевого сигнала: Автореф. Дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2007. – 20 с.
3. Конев А.А., Онищенко А.А., Костюченко Е.Ю., Якимук А.Ю. Автоматическое распознавание музыкальных нот // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2015. – № 3 (60). – С. 32-47.

УДК 621.384

ГЕНЕРАЦИЯ ПУЧКОВ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ МЕТАЛЛА В ВАКУУМНОМ ДУГОВОМ ИОННОМ ИСТОЧНИКЕ

В.П. Фролова

Институт сильноточной электроники СО РАН,

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/3, 634055

E-mail: Frolova_Valeria_90@mail.ru

GENERATION OF MULTIPLY CHARGED METAL ION BEAMS IN A VACUUM ARC ION SOURCE

V.P. Frolova

Institute of High Current Electronics SB RAS, Russia, Tomsk, Akademichesky ave., 2/3 634055

E-mail: Frolova_Valeria_90@mail.ru

Abstract. *In vacuum arc ion sources operating at an arc current pulse amplitude of hundreds of amperes and a pulse duration of more than tens of microseconds, the average charge of the cathode material ions in the ion beam ranges from 1+ for carbon to about 3+ for heavy metals. An increase in the charge states of the vacuum arc plasma ions makes it possible to increase the ion energy in the extracted beam without a corresponding increase in the accelerating voltage, or vice versa, to obtain ions with a given energy at a significantly lower accelerating voltage. This expands the possibilities of ion sources in solving problems of science and practice. This article presents a study of the processes of generation of beams of multiply charged heavy metal ions using the example of tantalum ions. By shortening the duration of the arc current pulse to a submicrosecond level, record charge states for tantalum were obtained up to 13+ at an average charge of tantalum ions in the beam of 11+.*

Введение. В вакуумных дуговых источниках ионов генерация пучка осуществляется за счет извлечения и дальнейшего ускорения ионов из плазмы вакуумного дугового разряда с катодом, выполненным из материала, ионы которого требуется получить. Такие источники способны генерировать импульсные ионные пучки любого твердотельного проводящего материала. Как правило, амплитуда тока ионного пучка в вакуумных дуговых источниках ионов составляет около 1 А, площадь поперечного сечения пучка от 10 до 100 см2 при ускоряющем напряжении около 100 кВ [1]. Зарядовые состояния ионов плазмы материала катода и, соответственно, сформированного на её основе ионного пучка, не превышают значение 5+, а средняя зарядность ионного пучка находится в пределах от 1+ для углерода до 3+ для тяжелых металлов [2]. Повышение зарядовых состояний ионов плазмы вакуумной дуги позволяет обеспечить увеличение энергии ионов в генерируемом пучке без соответствующего увеличения ускоряющего напряжения, либо наоборот, позволяет получить пучки ионов с требуемой энергией при существенно меньшей величине ускоряющего напряжения. Первое – приводит к расширению диапазона энергии ионного пучка источника, а второе позволяет сделать его более компактным, недорогим в изготовлении и радиационно безопасным.

Для реализации этой концепции был разработан ряд методов увеличения зарядности ионов пучка вакуумного дугового ионного источника [3-6]. Объединяющим фактором всех этих методов является то, что повышение зарядности ионов плазмы, а, следовательно, и ионного пучка, обеспечено увеличением

температуры плазменных электронов, вклад которых в ионизационные процессы является доминирующим. Именно поэтому наиболее простым и эффективным подходом к достижению высокой зарядности ионов в вакуумной дуговой плазме ионного источника оказалась реализация сильноточной дуги с килоамперным диапазоном амплитуды тока разряда с короткой длительностью уровня единиц микросекунд. В работах была найдена зависимость увеличения зарядности ионов различных металлов при сокращении длительности импульса дуги. В настоящей статье представлены исследования по генерации пучков ионов тантала при субмикросекундной длительности импульса тока дуги. В результате были получены рекордные по зарядовым состояниям для вакуумного дугового источника пучки ионов тантала содержащие ионы вплоть до Ta13+ при средней зарядности ионов тантала в пучке около 11+.

Экспериментальная часть. В работе, был использован вакуумный дуговой ионный источник типа Mevva-5.Ru [1] со специальным разработанным катодным узлом для получения плазмы многозарядных ионов в субмикросекундных импульсах. Особенности конструкции ионного источника заключались в следующем. Катод представлял собой стержень диаметром 6,5 мм, выполненный из тантала. Он располагался внутри керамической трубки с внешним диаметром 12 мм, на торце которой располагался металлический анод поджигающего разряда. Катод и поджигающий электрод были размещены на катододержателе, который представлял собой высоковольтный низкоиндуктивный двухэлектродный вакуумный ввод. Этот ввод располагался на конусообразном катодном фланце, размеры которого были подобраны таким образом, чтобы рабочая поверхность катода была расположена на оси полого анода так, чтобы расстояние до ближайшей стенки полого анода составляло не менее 5 см. Это было необходимо, чтобы снизить эффект повышения давления в области катода. Таким образом существенно снижалась вероятность перезарядки ионов на нейтралах остаточного газа, что является одним из основных процессов снижения зарядовых состояний многозарядных ионов материала катода в плазме дуги.

Формирование ионного пучка происходило с помощью ионно-оптической системы. Для измерения тока ионного пучка использовался перемещаемый магнито-изолированный цилиндр Фарадея. На другом торце вакуумной камеры от ионного источника располагался модернизированный времяпролетный масс-спектрометр для анализа масс-зарядового состава ионного пучка.

Результаты. При использовании разрядного конденсатора емкостью 0,1 мкФ и при приложении к разрядному промежутку напряжения 10-14 кВ были получены импульсы тока дуги с длительностью менее 0,5 мкс на полувысоте и амплитудой 1-5 кА, при этом импульсная мощность, выделяемая в разряде, может достигать 10 МВт. В экспериментах было показано, что существуют оптимальные параметры импульса вакуумной дуги, при которых увеличение зарядовых состояний ионов тантала максимально.

При оптимальных параметрах импульса вакуумной дуги, показанных на рис. 1, т.е. при амплитуде импульса тока дуги 2,5 кА, длительности импульса дуги 0,48 мкс, импульсной мощности 7 МВт, а также при остаточном давлении в вакуумной камере около 2 x 10^{-7} Торр были получены пучки ионов тантала с зарядовыми состояниями вплоть до 13+ (рис. 1). При этом минимальное наблюдаемое зарядовое состояние ионов – Ta9+, наиболее вероятное зарядовое состояние ионов – Ta11+, средняя зарядность ионов тантала в пучке достигает значения около 11+.

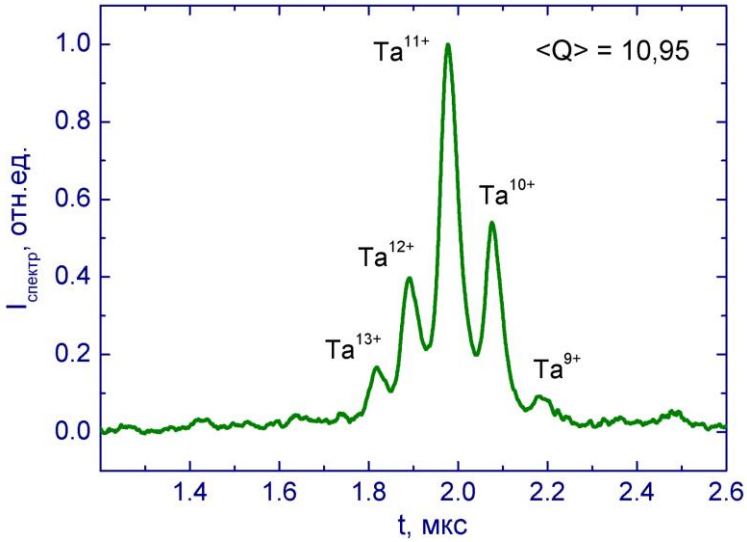


Рис. 1. Зарядовые состояния ионов тантала в ионном пучке, измеренные времяпролетным масс-спектрометром

Заключение. Таким образом, полученные в этой работе зарядности ионов тантала в пучке, извлеченном из плазмы вакуумной дуги, являются рекордными для исследуемого материала и для данного класса ионных источников, а метод увеличения зарядности ионов металлов за счет использования плазмы вакуумно-дугового разряда с килоамперными токами и субмикросекундной длительностью представляется относительно простым для реализации и достаточно эффективным, поэтому является привлекательным для практического использования.

Работа была выполнена при поддержке гранта Российского Научного Фонда № 22-29-00118.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nikolaev A.G., Oks E.M., Savkin K.P., Yushkov G.Y., and Brown I.G. Upgraded vacuum arc ion source for metal ion implantation // RSI. – 2012. – Vol. 83., – P. 02A501.
2. Anders A. Ion charge state distributions of vacuum arc plasmas: The origin of species // Phys. Rev. E. – 1997. – Vol. 55., – P. 969-981.
3. Николаев А.Г., Окс Е.М., Юшков Г.Ю. Зарядовое распределение ионов в плазме вакуумного дугового разряда в сильном магнитном поле // ЖТФ. – 1998. – Т. 68., № 5. – С. 39-43.
4. Yushkov G., Oks E., Anders A., and Brown I. Effect of multiple current spikes on the enhancement of ion charge states of vacuum arc plasmas // J. Appl. Phys. – 2000. – Vol. 87., – P. 8345-8350.
5. Бугаев А.С., Гушенец В.И., Юшков Г.Ю., Окс Е.М., Андерс А., Браун Я., Гершкович А., Шпедке П. Генерация многозарядных ионов в плазме вакуумного дугового разряда // Изв. Вузов. Физика. – 2001. – Т. 44., № 9. – С. 15-22.
6. Yushkov G.Yu., and Anders A. Extractable, elevated ion charge states in the transition regime from vacuum sparks to high current vacuum arcs // Appl. Phys. Lett. – 2008. – Vol. 92. – P. 041502.

УДК 004.85

ПРЕДСКАЗАНИЕ УРОВНЕЙ ПОДДЕРЖКИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦЕН НА ФОНДОВОМ РЫНКЕ ПРИ ПОМОЩИ LSTM

М.А. Хайров

Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.Г. Спицын

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: mah9@tpu.ru

SUPPORT AND RESISTANCE LEVELS PREDICTIONS FOR STOCK MARKET WITH LSTM

M.A. Khairov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.G. Spitsyn

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: mah9@tpu.ru

Abstract. *In this study, an LSTM-classifier for stock market support and resistance levels predictions is trained on high-frequency best bid and ask price data.*

Введение. В академической литературе имеются сведения о том, что поведение фондового рынка подчиняется некоторой нелинейной независящей от времени функции [1], в частности было показано, что искусственные нейронные сети могут понимать и предсказывать динамику цен. Таким образом исследования в этой области позволяют приблизиться к пониманию фундаментальных законов рынка.

Целью данного исследования является получение модели глубокого обучения для выявления уровней поддержки и сопротивления цен активов на фоновом рынке.

Экспериментальная часть. Для экспериментов были собраны исторические, содержащие лучшие цены покупки и продажи активов AAPL, MSFT, GE и NVDA за период с 2023.01.19 по 2023.02.21 числа в часы осуществления торгов. Всего в исходных данных содержалось около 83 млн. наблюдений.

Уровни сопротивления и поддержки в работе представлены, как локальные максимумы (1) и минимумы (2) соответственно по средней цене между ценой покупки и продажи (3) [2].

Использовалось следующие определения уровней поддержки и сопротивления

$$R = \max\big(m(t-n), m(t-n+1), \dots, m(t+n)\big) \pm \pi, \quad (1)$$

$$S = \min(m(t-n), m(t-n+1), \dots, m(t+n)) \pm \pi, \quad (2)$$

$$m(t) = \frac{a(t) - b(t)}{2}, \quad (3)$$

где *a(t)* – наиболее низкая цена продажи; *b(t)* – наиболее высокая цена покупки; *n* – размер окна поиска; π - наименьшее возможное приращение цены.

К данным также была применена процедура стандартизации (4), средние значения μ и стандартные отклонения σ рассчитывались по предыдущим 5 дням [3, 4]

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}. \quad (4)$$

В качестве входных признаков использовались значения цен купли и продажи, их объёмы, скользящие средние и стандартные отклонения.

Примеры для обучения модели, её валидации и теста были выбраны из 17. Для обучения модели использовались первые 11 дней, следующие 3 дня из выборки были выделены на валидацию и остальные 3 дня – на тест.

Задача предсказания уровней поддержки и сопротивления была сведена к классификации текущего наблюдения на предмет принадлежности к одному из классов:

1) уровень поддержки;
2) уровень сопротивления;
3) нейтральный класс - наблюдения, не являющиеся ни уровнем поддержки, ни уровнем сопротивления.

В качестве классификатора использовалась искусственная нейронная сеть на основе LSTM-блока с одним полносвязным слоем.

Обучение производилось при помощи стохастического градиентного спуска с использованием техники дропаут (*англ. dropout*) [5].

Результаты. На рис. 1 показано, как изменялась точность в процессе обучения модели.

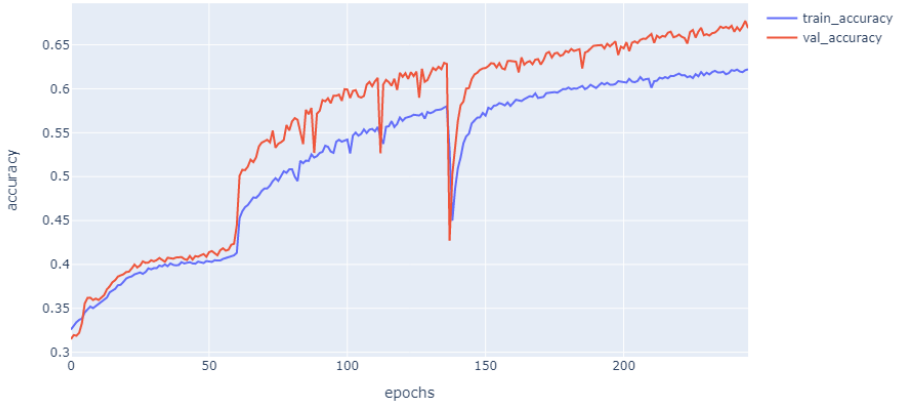


Рис. 1. График обучения ИНС. Изменение точности

Удалось достичь точности классификации на валидационной выборке равной 67 % и 63 % на тестовой из расчёта общей точности по всем классам. В таблице 1 также представлена оценка качества классификации по отдельным классам.

Таблица 1

Результаты, полученные на тестовой выборке (support – уровень поддержки, resistance – уровень сопротивления, nothing – нейтральный класс)

	Precision, %	Recall, %	F1, %	Accuracy, %
Neutral	37,59	46,39	41,53	-
Resistance	76,32	68,72	72,32	-
Support	75,54	70,00	72,66	-
По всем классам	-	-	62,17	63,15

На рис. 2 представлена матрица ошибок, полученная на тестовой выборке. Здесь можно наблюдать, что при определении уровней поддержки и сопротивления модель склонна в большинстве

случаев правильно классифицировать наблюдения, но в случае нейтрального класса большинство предсказаний ошибочны.

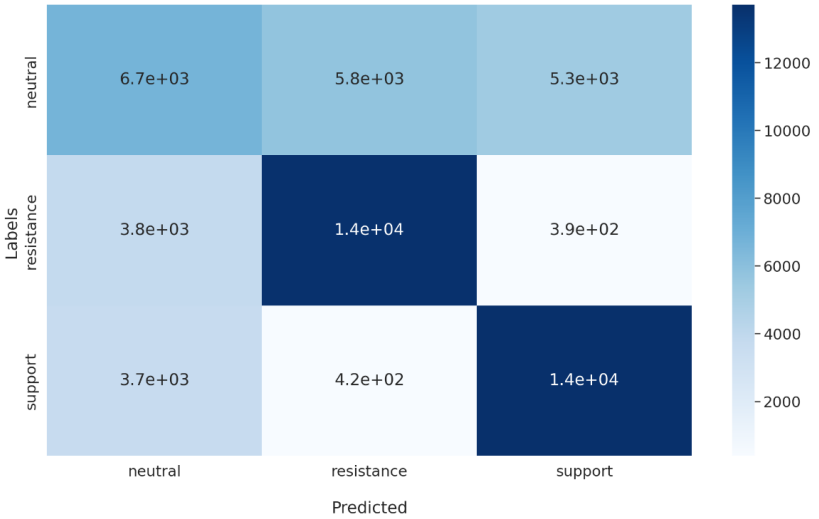


Рис. 2. Матрица ошибок, полученная на тестовой выборке (support – уровень поддержки, resistance – уровень сопротивления, nothing – нейтральный класс)

Заключение. В результате проведённого эксперимента удалось получить классификатор с точностью 63% на тестовой выборке. Обученная модель лучше всего справлялась с классификацией уровней поддержки и сопротивления нежели нейтрального класса, что может указывать на необходимость в использовании определения классов. В дальнейшем планируется: расширить выборки для обучения, валидации и теста; осуществить подбор информативных признаков и произвести симуляцию торговли с применением разработанной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Justin Sirignano and Rama Cont. (2018) Universal features of price formation in financial markets: Perspectives from deep learning. SSRN Electronic Journal, pp. 1-20.
2. Gould, M.D., Porter, M.A., Williams, S., McDonald, M., Fenn, D.J., & Howison, S.D. (2013). Limit order books. Quantitative Finance, no. 13(11), pp. 1709-1742.
3. Zhang Z., Zohren S. and Roberts S., (2019) DeepLOB: Deep Convolutional Neural Networks for Limit Order Books. IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 67, no. 11, pp. 3001-3012. doi: 10.1109/TSP.2019.2907260.
4. Ntakaris A., Magris M., Kanniainen J., Gabbouj M., and Iosifidis A. (2018) Benchmark dataset for mid-price forecasting of limit order book data with machine learning methods. Journal of Forecasting, vol. 37, no. 8, pp. 852-866.
5. Hinton, G.E.; Srivastava, N.; Krizhevsky, A.; Sutskever, I.; Salakhutdinov, R.R. (2012) Improving Neural Networks by Preventing Co-Adaptation of Feature Detectors. arXiv, pp. 1207.0580.

УДК 004.056.57

УЯЗВИМОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

К.И. Цимбалов, А.А. Злыгостева

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.А. Конев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, ул. Ленина, 40, 634050

E-mail: cki@nti.tusur.ru

VULNERABILITIES OF INDUSTRIAL DATA TRANSMISSION PROTOCOLS

K.I. Tsimbalov, A.A. Zlygosteva

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. A.A. Konev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: cki@nti.tusur.ru

Abstract. *This article presents vulnerabilities of industrial data transmission protocols. Based on certain vulnerabilities, an attack scenario is proposed that exploits vulnerabilities of Modbus protocol.*

Введение. В основе автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) лежит определенное количество датчиков, исполнительных механизмов, узлов мониторинга и управления, связанных между собой промышленной сетью. Промышленная сеть является каналом связи, в котором данные передаются между конечными устройствами АСУ ТП по заранее определенному промышленному протоколу передачи. Очень часто, протокол такого типа является открытым, что упрощает разработку устройств АСУ ТП. Любой человек может найти информацию о конкретном промышленном протоколе, которая находится в открытом доступе [1]. С другой стороны, открытость помогает злоумышленникам реализовывать атаки на инфраструктуру АСУ ТП.

Атаки на промышленные системы совершаются регулярно [2]. По данным компании InfoWatch за 2022 год [3], количество кибератак выросло на 38%. Принимая во внимание тот факт, что АСУ ТП может быть объектом критической информационной инфраструктуры, атака может нанести ущерб значимым объектам, нарушив работу критически важных процессов.

Целью текущей работы является формирование списка уязвимостей промышленных протоколов передачи данных. Помимо этого, в рамках работы рассматривается сценарий атаки, направленный на использование уязвимостей промышленного протокола Modbus.

Экспериментальная часть. Уязвимости протоколов передачи данных рассматривались для протоколов: Modbus (В конфигурации RTU, ASCI, TCP), OWEN и Profibus (в конфигурации (DP, PA). Текущие протоколы являются широко распространёнными среди производителей промышленных систем, а также, имеют ряд недостатков [4].

В таблице 1 представлен перечень уязвимостей для промышленных протоколов передачи данных.

Таблица 1

Уязвимости промышленных протоколов передачи

Протокол	Уязвимости
Modbus (RTU,ACSI, TCP)	Отсутствие аутентификации ведущих устройств Отсутствие аутентификации ведомых устройств Отсутствие шифрования данных
OWEN	Отсутствие аутентификации ведущих устройств Отсутствие аутентификации ведомых устройств Отсутствие шифрования данных
Profibus (DP,PA)	Отсутствие шифрования данных Наличие предустановленных учетных данных

Исходя из данных, представленных в таблице 1, часто встречающейся уязвимостью промышленных протоколов является отсутствие шифрования данных. Благодаря этому, злоумышленник может прослушивать канал связи, нарушая конфиденциальность такого канала. Кроме этого, из-за отсутствия аутентификации ведущих и ведомых устройств, злоумышленник может, как подменять такие устройства, так и генерировать собственные данные, нарушая логику работы промышленных систем.

Результаты. В рамках сценария атаки рассматривались уязвимости для протокола Modbus, связанные с отсутствием аутентификации устройств и шифрования данных. Для проведения атаки был реализован стенд, в котором устройства передавали данные по промышленному протоколу Modbus. Структурная схема стенда представлена на рис.1

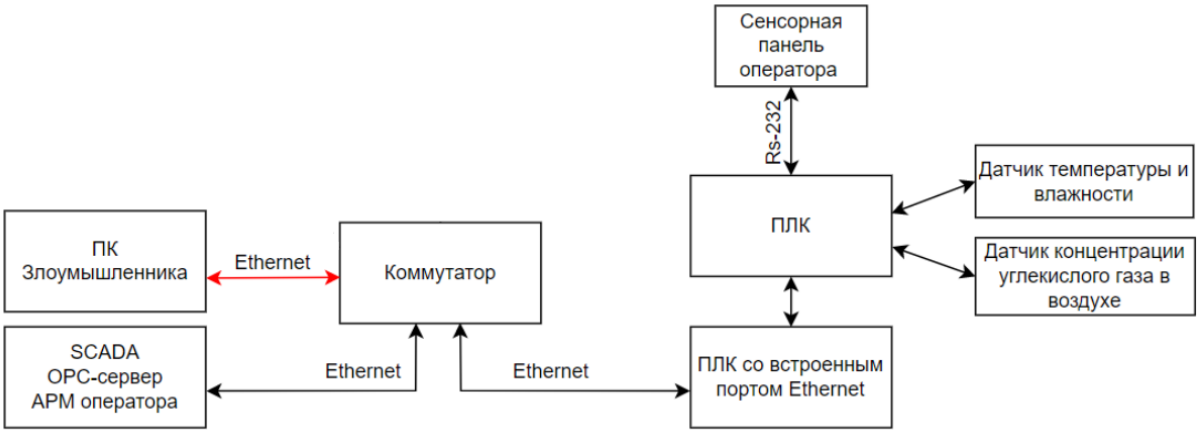


Рис. 1. Структурная схема стенда

В рамках сценария атаки проверялась возможность организации DoS атаки на программируемый логический контроллер (ПЛК), при организации сети с помощью коммутатора. После подключения к коммутатору, условный злоумышленник переполнял таблицу коммутации, для того, чтобы перевести коммутатор в режим концентратора. Это позволило обращаться ко всем устройствам, которые подключены к коммутатору. После чего, формируя поддельные запросы по правилам протокола Modbus, злоумышленник переполнял входной буфер программируемого логического контроллера, в результате чего, происходил отказ в обслуживании. Отказ детектировался с помощью команды «ping» на АРМ оператора (рис.2).

```
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=6мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=5мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=5мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=5мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=7мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=2мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=5мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=3мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=5мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=8мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=3мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=5мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=5мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=6мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=8мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=13мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=5мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=8мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=8мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=15мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=10мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=6мс TTL=64
Ответ от 192.168.36.3: число байт=32 время=3мс TTL=64
Превышен интервал ожидания для запроса.
Превышен интервал ожидания для запроса.
Общий сбой.
PING: сбой передачи. Общий сбой.
PING: сбой передачи. Общий сбой.
```

Рис 2. – Сбой при передаче

Выводы. Рассмотренные в рамках текущей работы протоколы имеют ряд уязвимостей, которые позволяют злоумышленнику влиять на процесс передачи данных в промышленных системах. Это подтверждает предложенный в рамках работы сценарий атаки на промышленную систему. Специалистам, которые разрабатывают и интегрируют промышленные протоколы, необходимо уделять больше внимания аспектам информационной безопасности, интегрируя механизмы защиты информации на уровне протоколов.

В дальнейшем планируется рассмотрение сценариев, которые затрагивают уязвимости для всех предложенных в рамках текущей работы протоколов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Modbus Application Protocol Specification V1.1b [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf . (дата обращения 10.03.2023).
2. Экспертно-Аналитический центр InfoWatch. Обзор киберинцидентов в сфере энергетики, транспорта и управления производством за 2022 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.infowatch.ru/sites/default/files/analytics/files/kiberbezopasnost-asu-tp-obzor-intsidentov-za-proshedshiy-god.pdf . (дата обращения 10.03.2023).
3. Novokhrestov A., Konev A., Shelupanov A. Model of Threats to Computer Network Software // Symmetry. – 2019. – Vol. 11., Iss.12. – P.1506.
4. Novokhrestov A., Konev A., Shelupanov A.A., Buymov A. Computer network threat modelling // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. – 2020. – Vol. 1488. – P. 012002.

УДК 004.522

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ НА ДАННЫХ ПАЦИЕНТОВ ПРИ РЕЧЕВОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

Н.Д. Шабанов

Научный руководитель: Д.И. Новохрестова

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: nikita2000_30@mail.ru

APPLICATION OF SPEECH RECOGNITION SYSTEMS FOR ASSESSING PATIENT SPEECH DURING SPEECH REHABILITATION

N.D. Shabanov

Scientific Supervisor: D.I. Novokhrestova

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: nikita2000_30@mail.ru

Abstract. *The application of the Kaldi Toolkit speech recognition system on the speech of patients during speech rehabilitation after the treatment of oncological diseases of the oral cavity is considered. Speech recognition on our own dataset was considered, the results were compared with the Sber SaluteSpeech system. Speech recognition was also carried out on a dataset of patients speech, a measure of accuracy was calculated, and also compared with the Google Cloud Speech API, Yandex, Voco systems. The results indicate the possibility of using speech recognition systems in the speech rehabilitation process.*

Введение. На данный момент активно развиваются системы распознавания речи, применяемые в сфере медицины, которые заполняют медицинские документы, преобразуют голос врача в текст, позволяют автоматизировать медицинский документооборот. Отдельным вопросом стоит оценка качества и разборчивости речи в речевой реабилитации после пройденного лечения онкологических заболеваний полости рта. Среднегодовой темп прироста злокачественных новообразований составляет более 2,5% [1]. Это свидетельствует о тенденции увеличения количества диагностируемых злокачественных новообразований. В результате удаления таких новообразований у пациентов ухудшается речь, требуется речевая реабилитация, проводимая со специалистами-логопедами. И в качестве одного из вспомогательных инструментов оценки речи предлагается использовать средства автоматизации в виде системы распознавания речи для сравнения распознанного текста и произнесенного пациентом.

Экспериментальная часть. По результатам анализа стало очевидно, что среди систем распознавания речи, наибольшую точность имеет система распознавания Kaldi Toolkit [2]. Далее необходимо было сравнить с конкурентом с закрытым кодом Google Cloud Speech API. В ходе анализа стало очевидно, что Kaldi распознает хуже, чем система от Google [3]. Однако система Kaldi Toolkit предоставляет доступ к коду, что является преимуществом при необходимости дообучения модели, она является бесплатной, а также показывает лучший результат в своей категории. Также стоит отметить, что

Google Cloud Speech API стала добавлять при распознавании русской речи новостной контекст, связанный последними событиями, что ухудшает распознавание речи.

В качестве модели распознавания речи использовалась русскоязычная модель, обученная на аудиодорожках из видеозаписей YouTube. Для создания языковой модели использовался словарь CMUdict. Для обучения языковой модели использовался фреймворк RNNLM, основанный на рекуррентных сетях [4].

Использовалось два набора данных: собственный набор данных, набор данных пациентов. В качестве собственного набора данных было записано по 25 аудиозаписей двумя дикторами (мужчина и женщина) для проверки зависимости распознавания от диктора. В наборе данных пациентов содержится 950 аудиозаписей. У каждого пользователя имеется по 3 набора данных: до операции (25 аудио), после операции (25 аудио), в процессе реабилитации (25 аудио).

Результаты. Для оценки результатов распознавания были посчитаны метрики WER и WRR для каждого диктора и общая оценка. Метрика WER – показатель неверно распознанных слов (отношение удаленных, вставленных и замененных слов к общему количеству слов), WRR – доля правильно распознанных слов (рассчитывается, как единица минус WRR) Для обоих дикторов WER составила 6,6 %, соответственно и общий WER = 6.6 %, метрика WRR составила 93,4 %.

Далее необходимо было сравнить полученные данные с другими системами распознавания речи. Была выбрана новая система распознавания от Сбер SaluteSpeech [5]. В результате получены следующие оценки: WER также одинаковый у двух дикторов и равен 5,33 %, WRR равен 94,67 %. Результаты оказались лучше, чем у Kaldi Toolkit. Система не ошиблась в окончаниях там, где ошиблась Kaldi, однако и вставила слова, там, где не ошиблась Kaldi.

Следующим этапом было протестировано распознавание речи на данных пациентов. Результаты распознавания представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты распознавания речи данных пациентов Kaldi toolkit

Имя диктора	WER, %		
	До операции	До реабилитации	В процессе реабилитации
1	23,5	73,3	66
2	7,6	86,2	69,1
3	6,9	53,9	71,5
4	15,4	60,5	36
5	23,2	89,9	75,4

В результате были получены следующие метрики: WER до операции равна 21,81 %, WER до реабилитации равна 69,78 %, WER после операции равен 60,07 %.

Проанализировав результаты распознавания системой Kaldi было определено, что самой частой ошибкой является вставка слов, т.е. система не распознала нужное слово и вместо него было вставлено другое, на данную ошибку приходится 56%. Практически в каждой фразе, где присутствовали предлоги система удаляла их, на ошибку такого рода приходится 15%, изменение окончаний – 14 %, изменение основы слова – 9 %, полное удаление слов – 3 %.

Результаты распознавания были также сравнены с системами Google Cloud Speech API, системой распознавания речи от Яндекса, Voco. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение результатов распознавания речи между системами

	До операции			
Среднее значение WER	Google	Yandex	Voco	Kaldi
	0,77	0,71	0,36	0,78
	До реабилитации			
Среднее значение WER	Google	Yandex	Voco	Kaldi
	0,42	0,32	0,12	0,30
	В процессе реабилитации			
Среднее значение WER	Google	Yandex	Voco	Kaldi
	0,59	0,44	0,20	0,40

В результате можно сказать, что Kaldi не так сильно отстает от других более известных коммерческих систем распознавания.

Заключение. В рамках исследования была протестирована система распознавания речи Kaldi Toolkit. В рамках сравнения на нормальной речи собственного набора данных можно сделать вывод, что система не уступает своим конкурентам. В рамках распознавания на наборе данных пациентов можно также сделать вывод, что система применима к такому рода распознаванию, на текущий момент показывает себя несколько хуже конкурентов, однако при модификации набора данных может показать лучший результат. Кроме того, Kaldi Toolkit отличается от других систем свободным доступом, открытостью кода, возможностью доработки, а также использования собственных моделей.

В дальнейшем планируется доработка модели, а именно смена языковой модели. Также необходима доработка набора фраз и разработка алгоритмов предобработки аудиофайлов с речью пациентов для обнаружения технических ошибок в процессе записи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. Злокачественные новообразования в России в 2020 году (заболеваемость и смертность) // М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрав России, 2021. – илл. – 252 с.
2. Беленко М.В., Балакшин П.В. Сравнительный анализ систем распознавания речи с открытым кодом 11 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://research-journal.org/wp-content/uploads/2011/10/04-4-58.pdf#page=13 (дата обращения: 03.10.2022).
3. Kimura T., Nose T., Hirooka S. Comparison of Speech Recognition Performance Between Kaldi and Google Cloud Speech API // Cham : Springer International Publishing, 2019. – Т. 110. – С. 109-115.
4. Модель распознавания речи // Облако [Электронный ресурс]. – URL: https://cloud.mail.ru/public/85Ry/oxrjUXDJG (дата обращения: 05.11.2022)
5. Озвучка текста, синтез речи и распознавание голоса: [Электронный ресурс]. URL: https://developers.sber.ru/portal/products/smartspeech (дата обращения: 15.11.2022)

УДК: 621.317.18

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ НА ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ В ОТКРЫТЫХ РЕЗОНАТОРАХ

А. Шаншо

Научный руководитель: доцент, И.О. Дорофеев

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: ahmadsho1@gmail.com

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF FREQUENCY SYNTHESIZER PARAMETERS ON IMPROVING THE ACCURACY OF MEASURING THE PROPERTIES OF MATERIALS IN OPEN RESONATORS

A. Shansho

Scientific Supervisor: Dr. I.O. Dorofeev

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: ahmadsho1@gmail.com

Abstract. *The article describes how the frequency fluctuation of a frequency generator affects the measurement accuracy of dielectric and loss tangent using open resonator techniques. A frequency synthesizer based on a phase-locked backward wave oscillator is proposed to increase the measurement accuracy.*

Введение. Диэлектрические свойства являются мерой взаимодействия материала с электрическим полем. Диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь являются важными параметрами, используемыми в микроволновой технике. Инженерам нужны эти параметры материалов для электромагнитного моделирования. В частности, эти характеристики материалов приобретают все большее значение для технических приложений в миллиметровом диапазоне длин волн [1]. Области применения весьма широки, от медицины, до систем обеспечения безопасности [2]. Существуют различные методы определения диэлектрических характеристик материалов в миллиметровом диапазоне частот. в целом, они делятся на волноводные, объёмные резонаторные и открытые резонаторные методы [3]. Наиболее привлекательным является метод открытого резонатора, основанный на размещении исследуемого образца между двумя металлическими зеркалами, образующими в миллиметровом диапазоне частот высокодобротную резонансную систему. Этот метод может обеспечить измерение диэлектрических свойств в широком диапазоне частот с высокой точностью, поскольку он достаточно проработан математически. Однако, реализация этого метода существенно зависит от точности измерений малых изменений резонансной частоты и ширины резонансной кривой на уровне -3 дБ [4], а это означает, что точность измерений также зависит и от стабильности генератора миллиметровых волн, используемого в качестве возбуждающего резонатор источника электромагнитного поля.

В диапазоне миллиметровых и субмиллиметровых волн одним из наиболее удобных источников для работы в широкой полосе частот является ЛОВ [5]. В данной работе мы изучаем влияние

стабильности частоты и шага перестройки частоты источника на точность измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь материала и рассматриваем пути повышения точности измерений.

Экспериментальная часть. Для моделирования влияния стабильности возбуждающего резонатор источника и шага перестройки его частоты на точность измерений использовалась программа ORIGINPRO 2018. При моделировании предполагается, что образец материала плоско-параллельной формы толщиной d, проницаемостью ε_r и тангенсом угла потерь $\tan\delta_1$ помещается между двумя вогнутыми металлическими зеркалами, расположенными на расстоянии L друг от друга. Резонансная частота используемого основного типа колебаний «пустого» резонатора f_0. Диэлектрическая проницаемость материала известной толщины рассчитывается по формуле [6]:

$$\varepsilon_r = \frac{L}{d}\frac{\delta f}{f_0} + 1,$$

где: f_s резонансная частота с образцом, $\delta f = f_0 - f_s$ сдвиг резонансной частоты после введения образца, Принимая во внимание только погрешность измерения частоты, получим, что погрешность измерения диэлектрической проницаемости определяется уравнением: $\Delta\varepsilon_r = \frac{L}{d}\frac{\Delta f}{f_0}$.

Тангенс угла потерь можно рассчитать, согласно [6]:

$$tan\delta_1 = \frac{L}{2d\varepsilon_r}\left(\frac{\mathrm{BW}_s}{\mathrm{f}_s} - \frac{\mathrm{BW}_0}{\mathrm{f}_0}\right),$$

где: BW_s, BW_0 ширина резонансной кривой на уровне -3 дБ, соответственно, с образцом и без него. Учитывая, что ширина полосы резонансной кривой представляет собой вычитание двух измеренных значений частот, погрешность измерения ширины полосы удваивается. Также, если предположить, что резонансная частота резонатора без образца является расчетной величиной (не измеренной), погрешность измерения тангенциальных потерь можно записать в виде:

$$\Delta tan\delta_1 = \frac{L}{2d\varepsilon_r}\sqrt{\left(\frac{2}{f_s}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{BW}_s}{f_s^{\,2}}\right)^2 + \left(\frac{2}{f_0}\right)^2} \times \Delta\mathrm{f}$$

Результаты. На рис. 1 показана погрешность измерения диэлектрической проницаемости в зависимости от амплитуды частотных флуктуаций источника для 3-х значений толщин. На рис. 2 показана погрешность измерения тангенса угла потерь с ошибкой по частоте для кратной диэлектрической проницаемости.

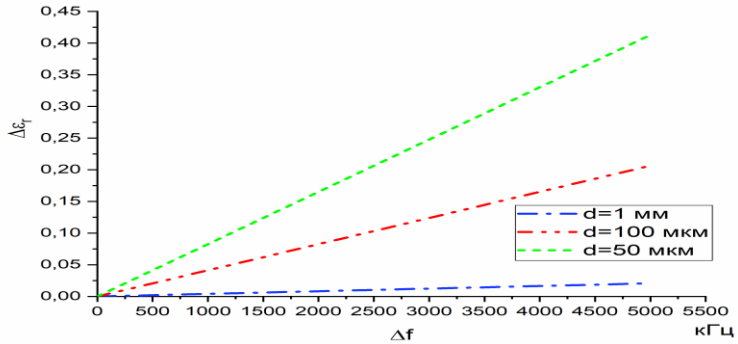


Рис. 1. Погрешность измерения диэлектрической проницаемости в зависимости от флуктуаций частоты источника

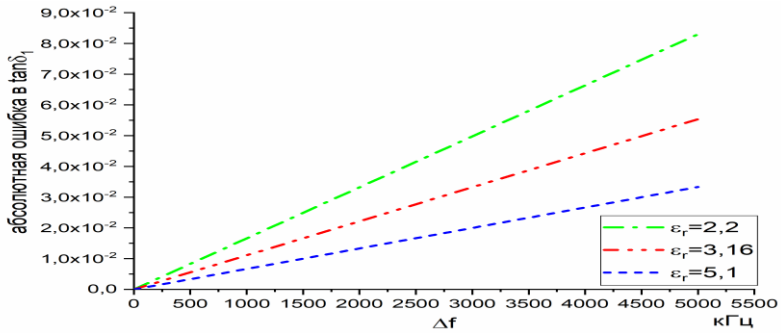


Рис. 2. Погрешность измерения тангенса угла потерь в зависимости от флуктуаций частоты источника

Заключение. Из рис. 1 видно, что при флуктуациях частоты более 100 кГц можно проводить измерения диэлектрической проницаемости с разрешением до 0,01. Также можно оценить уменьшение точности измерений с увеличением толщины. Из рис. 2 видно, что при отклонениях частоты источника более 100 кГц становятся невозможными измерения $tan\delta_1$ материала с низкими потерями порядка 10^{-3}.

Полученные результаты показывают, что ЛОВ, нестабильность которой обычно составляет не менее 2 МГц, нельзя использовать для точного измерения диэлектрических свойств. Целесообразно применять ЛОВ с фазовой автоподстройкой частоты, синхронизированное с прямым цифровым синтезатором и гармоническим преобразованием с понижением частоты в обратной связи. В этом случае можно получить шаг перестройки менее 1 Гц, что позволит существенно повысить точность измерений диэлектрической проницаемости материалов и тангенса угла потерь в открытых резонаторах в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang, X., Chang, T., Cui, HL. A Free-Space Measurement Technique of Terahertz Dielectric Properties // J Infrared Milli Terahz Waves. – 2017. – V. 38. – P. 356-365.
2. Tonouchi, M. Cutting-edge terahertz technology // Nature Photon. – 2017. – P. 97-105.
3. Черенков А.Д., Кунденко Н.П. Анализ резонансных систем для измерения электрофизических параметров веществ // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – № 3. – С. 97
4. Dunaevsky G.E., Dorofeev I.O. From Micro- to Nano-objects and from Giga- to Terahertz Frequency Range: Quasi-optical Resonant Diagnostics of Objects // Semiconductor Nanotechnology: advances in information and energy processing and storage. – 2018. – P. 169-197.
5. Шаншо А., Дунаевский Г.Е., Дорофеев И.О., Бадьин А.В. Долговременная стабилизация частоты лампы обратной волны с помощью фазовой автоподстройки частоты // Радиофизика, фотоника и исследование свойств вещества: тезисы докладов II Российской научной конференции. – Омск, 2022. – С. 214–215.
6. Suzuki H. Kamijo T. Millimeter-Wave Measurement of Complex Permittivity by Perturbation Method Using Open Resonator // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, – 2008. – V. 57, № 12. – P. 2868–2873.

УДК 535.015

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ СУБПИКСЕЛЯ С ПЬЕЗОДВИЖАТЕЛЕМ

Д.А. Шестерикова, Е.С. Барбин, Т.Х. Фам

Научный руководитель: доцент, к.т.н. И.В. Кулинич

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: darya.mokhina@mail.ru

STUDY OF THE ELECTRICAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF A SUB-PIXEL MODEL WITH A PIEZODRIVER

D.A. Shesterikova, E.S. Barbin, T.H. Pham

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. I.V. Kulinich

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: darya.mokhina@mail.ru

Abstract. *In the present study, we measured internal stresses and strains for the design of a massive air-gap piezodriver with end-mounted supports, for multilayer piezodrivers with air gaps supported on the ends and supported on the substrate.*

Введение. В последнее время для исследования атмосферы земли, активно ведутся исследования, благодаря развитию адаптивной оптики на основе МЭМС зеркал [1]. В таких зеркалах реализована система множества микрозеркал (пикселях) с подвижным приводом на каждом пикселе, что позволяет управлять отражающим излучением. Величина управляющего напряжения играет ключевую роль для управления системы с минимально возможными нелинейностями и шумами. В настоящее время в зависимости от типа управления привода (актуатора) МЭМС зеркала, управляющее напряжение составляет не менее 200 В, что вызывает сложности в построении системы управления.

Целью данной работы является исследование и проектирование конструкции пьезодвижателя для пикселя адаптивного зеркала, с управляющим напряжением не более 20 В.

Экспериментальная часть. Для выбора конструкции пьезодвижателя были проведены исследования конструкций на основе массивного материала и многослойного. Конструкция массивного пьезоэлемента состоит из пьезоматериала, толщиной (h) и электродов (рис.1, а), многослойная конструкция состоит из слоя пьезоматериала, электродов и диэлектрической разделяющего слоя, толщиной (H) (рис.1, б).

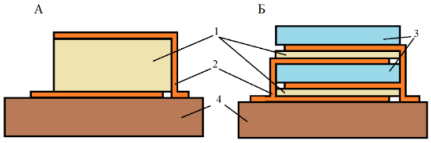


Рис. 1. Схематическое представление пьезодвижателя

а) конструкция массивного пьезодвижателя б) конструкция многослойного пьезодвижателя

1 – пьезоэлемент; 2 – электроды; 3 – разделяющий слой; 4 - подложка

В качестве материала для электродов использовалась медь с подслоем титана, так как медь имеет наибольшую прочность на растяжение [2] и низкое сопротивление. В качестве пьезоматериала использовался титанат свинца. Выбор разделяющего слоя основывался на возникающих внутренних механических напряжениях при деформации возможности получать тонкие пленки разделяющего слоя методами вакуумного напыления. Для разделяющего диэлектрика были рассмотрены пленки SiO_2, Al_2O_3. Геометрические размеры пьезоэлемента основывались на максимальной деформации при рабочем напряжении 20 В. Выбор максимальной деформации (L) ограничивался пределом прочности (σ) используемых материалов. Предел прочности SiO_2 =50 МПа, предел прочности Al_2O_3 =600 МПа, предел прочности PbTiO3=3000 МПа, предел прочности меди 250 МПа [3]. На рис. 2 изображено схематическое представление исследуемых систем крепления пьезодвижателя к подложке.

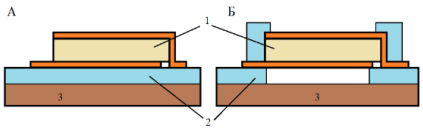


Рис. 2. Схематическое представление исследуемой системы опоры пьезодвижателя

а) система опоры на подложку *б) система опоры на торцы с воздушным зазором*

1 – пьезодвижатель; 2 – буферный слой SiO_2; 3 – подложка

Для исследования конструкции пьезодвижателя была разработана математическая модель пьезодвижателя, описывающая деформацию конструкции на основе соотношений:

$$E = -\nabla V; \quad \nabla \cdot (\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot E) = \rho_V. \tag{1}$$

Полученные из соотношений для смещения *D*:

- для относительной диэлектрической проницаемости $D = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot E$;
- для поляризации $D = \varepsilon_0 \cdot E + P$;
- остаточное электрическое смещение $D = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot E + D_r$, где D_r – остаточное смещение.

Во избежание увеличения сопротивления проводников на торцах, необходимо использовать металлизацию толщиной не менее 400 нм, максимальная толщина диэлектрика должна составлять не более 1000 мкм, при угле наклона стенки диэлектрика 30.

На рис.3 представлен результат расчета деформации массивного пьезодвижателя и пьезодвижателя на основе многослойной конструкции при опоре на подложку.

Рис. 3. Результат расчета деформации пьезодвижателей при опоре на подложку

а) конструкция многослойного пьезодвижателя *б) конструкция массивного пьезодвижателя*

На рис.4 представлен результат расчета деформации массивного пьезодвижателя и пьезодвижателя на основе многослойной конструкции при опоре на торцы с воздушным зазором.

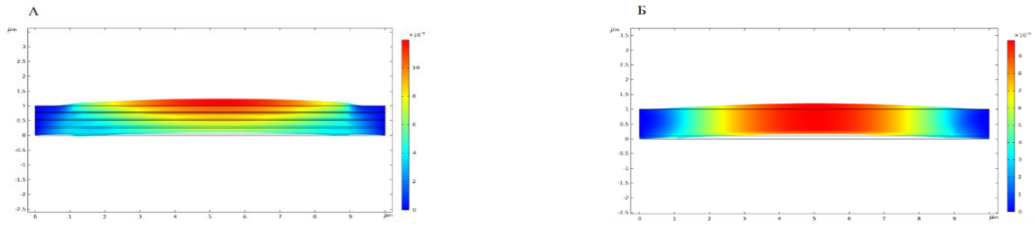


Рис. 4. Результат расчета деформации пьезодвижателей при опоре на торцы

а) конструкция многослойного пьезодвижателя б) конструкция массивного пьезодвижателя

Результаты. Результаты расчета деформации, представленные и рис.4, проводились при толщине пьезоэлемента 50 нм и общей толщиной пьезодвижателя 1 мкм. Максимальное отклонение составило 12 нм для конструкции многослойного пьезодвижателя с опорами на торцы. Для определения оптимальной толщины пьезоэлемента (h) были проведены исследования, результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета внутренних напряжений и деформации в конструкции массивного пьезодвижателя с воздушным зазором и опорами на торцы

h, нм	H=50 нм		H=100 нм		H=200 нм		H=400 нм	
	L, нм	σ, МПа	L, нм	σ, МПа	L, нм	σ, МПа	L, нм	σ, МПа
50	1000	2600	450	2700	160	2780	48	2800
100	500	1300	270	1300	120	1370	40	1400
200	320	700	180	690	80	680	33	680
400	130	350	100	350	60	340	27	330

Заключение. В результате проведенной работы были проведены исследования конструкций многослойного и массивного пьезодвижателей с опорой на подложку и опорами на торцы с воздушным зазором. Исследования показали, что максимальное внутренние напряжения в разделяющей в пленке Al_2O_3 для многослойной конструкции с опорами на подложку и опорами на торец составили соответственно 1100 МПа и 250 МПа, при управляющем напряжении равным 20 В. Максимальное отклонение многослойного пьезодвижателя с опорами на торцы, общей толщиной 1 мкм, составило 12 нм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cornelissen S. A. et al. MEMS deformable mirrors for astronomical adaptive optics // Adaptive Optics Systems II. – SPIE, 2010. – V. 7736. – P. 898-907.
2. Мусатов М.И. Техника и технология выращивания сапфира методом ГОИ. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2013. – 470 с.
3. Logtenberg S.W. Ultra-thin PbTiO3 films: thickness and ferroelectricity [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://purl.utwente.nl/essays/65962 (дата обращения: 01.02.2023)

УДК 519.713

О РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ПОЛУАВТОМАТОВ С ТАЙМАУТАМИ ОТНОСИТЕЛЬНО ОПЕРАЦИИ КОНКАТЕНАЦИИ

Е.В. Широкова

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Н.В. Евтушенко

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: k@shir.su

ON SOLVING EQUATIONS FOR AUTOMATA WITH TIMEOUTS OVER CONCATENATION OPERATOR

E.V. Shirokova

Scientific Supervisor: Prof., Dr. N.V. Yevtushenko

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: k@shir.su

Abstract. *Equations for automata over the concatenation can be used to check the vulnerability of web services with respect to a number of attacks. The solution to the equation describes the malicious web service inputs and can be used to clean such inputs. Since for a number of web services it is necessary to take into account time aspects, in this paper we discuss the problem of solving equations for automata with timeouts over concatenation and propose an approach for solving such equations using appropriate automaton abstractions.*

Введение. Одной из важнейших задач при разработке веб-сервисов является обеспечение безопасности, в частности проверка уязвимости сервисов к различным атакам. В настоящей работе под атаками на веб-сервис понимается осуществление действий, направленных на несанкционированный доступ к данным, их модификацию и так далее. Некоммерческий фонд OWASP [1] предоставляет список наиболее популярных атак на веб-сервисы, таких как инъекции (например, SQL-инъекции); ошибка аутентификации; раскрытие конфиденциальных данных; XSS-атаки (межсайтовый скриптинг); неверные настройки безопасности и т.д.

В работе [2] возможность осуществления атак на веб-сервис предлагается проверять с использованием полуавтоматного подхода. На первом шаге строятся полуавтомат, соответствующий регулярным выражениям шаблонов атак, и полуавтомат, соответствующий графу зависимостей анализируемой программы. Если пересечение двух полуавтоматов пусто, то код не имеет уязвимостей, соответствующих проверяемым атакам. Если пересечение не пусто, то атака может произойти, и желательно определить множество входных последовательностей, которые могут привести к атаке. Авторы показывают, что в ряде случаев такая проверка соответствует решению полуавтоматных уравнений $X.B \cong S$ и $A.X \cong S$, где '.' обозначает оператор конкатенации. В этих уравнениях полуавтомат S соответствует вредоносным входным данным, которые могут достичь чувствительных к атакам узлов (sink-узлов). Полуавтомат A - префикс (полуавтомат B - суффикс) полуавтомата S, который не зависит от вводимых пользователями данных. Необходимо найти суффикс (префикс) X, который приводит к

возможности атаки, т.е. соответствует вредоносным данным, которые может ввести пользователь. Если существует решение соответствующего полуавтоматного уравнения, то сервис не является безопасным. Необходимо отметить, что решение уравнений для классических невременных полуавтоматов относительно операции конкатенации достаточно хорошо изучено [3, 4]. Авторы [3] предлагают формулу для нахождения так называемого наибольшего решения, которое содержит все решения уравнения. В настоящее время достаточно часто при проверке наличия уязвимостей веб-сервисов необходимо учитывать временные аспекты, т.е. решать соответствующее уравнение относительно временных компонентов. В настоящей работе вводится понятие полуавтомата с таймаутами и предлагается решать уравнение относительно конкатенации временных полуавтоматов посредством его сведения к решению специального полуавтоматного уравнения.

Экспериментальная часть. Под *полуавтоматом с таймаутами* (*временным полуавтоматом*) A понимается шестерка $(A, a_0, F_A, J, \lambda_A, \delta_A)$, где A – конечное непустое множество состояний с выделенным начальным состоянием a_0, $F_A \subseteq A$ – множество финальных состояний, J – алфавит (входных) действий, $\lambda_A \subseteq A \times J \times A$ – отношение переходов, $\delta_A : A \to A \times (N \cup \{\infty\})$ – функция таймаутов, которая определяет целое число тактов времени, по достижении которого временной полуавтомат может покинуть текущее состояние, если никакое действие не было выполнено. В настоящей работе рассматриваются только временные полуавтоматы, у которых все финальные состояния имеют бесконечные таймауты. Временной полуавтомат имеет внутреннюю временную переменную (часы), которая принимает неотрицательные целочисленные значения и обозначает время, прошедшее с момента начала работы временного полуавтомата. В начале работы временного полуавтомата временная переменная принимает значение 0.

Временной символ (j, t) означает, что (входное) действие j выполняется в момент времени, когда значение внешних часов равно t. Последовательность $(j_1, t_1)(j_2, t_2)\ldots(j_k, t_k)$, $t_1 < t_2 <\ldots t_k$, временных символов называется *временной последовательностью* (*действий*). Множество всех допустимых временных последовательностей в начальном состоянии называется *языком* (*поведением*) L_A временного полуавтомата A. Два временных полуавтомата A и B *эквивалентны*, если $L_A = L_B$ (обозначение $A \cong B$). *Конкатенацией* временных полуавтоматов $A = (A, a_0, F_A, J, \lambda_A, \delta_A)$ и $B = (B, b_0, F_B, J, \lambda_B, \delta_B)$ будем называть временной полуавтомат $A.B$, язык которого содержит все временные последовательности вида $(j_1, t_1)(j_2, t_2)\ldots(j_n, t_n)(j'_1, t'_1 + t_n)(j'_2, t'_2 + t_n)\ldots(j'_k, t'_k + t_n)$, такие, что $(j_1, t_1)(j_2, t_2)\ldots(j_n, t_n) \in L_A$ и $(j'_1, t'_1)(j'_2, t'_2)\ldots(j'_k, t'_k) \in L_B$.

Для решения временных полуавтоматных уравнений и неравенств в случае, когда временная переменная принимает только целочисленные значения, в настоящей работе предлагается построить для временного полуавтомата подходящую полуавтоматную абстракцию, так называемый Î-полуавтомат. Такой полуавтомат, кроме переходов исходного полуавтомата, содержит переходы по абстрактному символу Î, который соответствует прошедшей единице времени [5]. Рассмотрим детерминированный временной полуавтомат $A = (A, a_0, F_A, J, \lambda_A, \delta_A)$. Соответствующим Î-полуавтоматом $A_{\hat{I}}$ является пятерка $(A_{\hat{I}}, (a_0, 0), F_A, J_{\hat{I}}, \lambda_{A\hat{I}})$, где $J_{\hat{I}} = J_{\hat{I}} \cup \{\hat{I}\}$, множество состояний содержит пары вида (a, t), где t является неотрицательным целым числом, если существует конечный таймаут T_a в состоянии a, который больше, чем t. Если таймаут T_a в состоянии a бесконечный, то в полуавтомате $A_{\hat{I}}$ есть единственное состояние $(a, 0)$ с петлей по входному символу Î. Если $\delta_A(a) = (a', T_a)$ и таймаут $T_a < \infty$, то переход по таймауту из

состояния a в состояние a' трансформируется в последовательность переходов ((a, 0), Î, (a, 1)) ((a, 1), Î, (a, 2))… ((a, T_a - 1), Î, (a', 0)), где все промежуточные состояния (a, t), t = 1, …, T_a – 1, не финальные и являются «копиями» состояния a, то есть имеют такие же переходы при подаче символа $j \in J$, как и состояние a. Для построенной абстракции временного полуавтомата, в котором временная переменная принимает целочисленные значения, можно доказать ряд утверждений.

Результаты. *Утверждение 1.* Для временного полуавтомата A соответствующий Î-полуавтомат $A_{\hat{I}}$ допускает в начальном состоянии последовательность $\hat{I}^{t1}\ j_1\ \hat{I}^{t2-t1}\ j_2\ \ldots\ \hat{I}^{tn-tn-1}\ j_n$, если и только если временной полуавтомат A допускает в начальном состоянии временную последовательность $(j_1, t_1)\ (j_2, t_2)\ \ldots\ (j_n, t_n)$.

Утверждение 2. Для временных полуавтоматов A и B справедливо, что Î-полуавтомат для конкатенации временных полуавтоматов A и B есть конкатенация соответствующих Î-полуавтоматов $A_{\hat{I}}$ и $B_{\hat{I}}$, т.е. $(A.B)_{\hat{I}} \cong A_{\hat{I}}.B_{\hat{I}}$,

Утверждение 3. Детерминированные временные полуавтоматы A и B эквивалентны, если и только если эквивалентны их полуавтоматные абстракции $A_{\hat{I}}$ и $B_{\hat{I}}$.

Согласно вышеприведенным утверждениям, уравнение для временных полуавтоматов можно решать для их Î-абстракций.

Утверждение 4. Временной полуавтомат X' является решением уравнения $A.X \cong S$ ($B.X \cong S$), если и только если соответствующий Î-полуавтомат $X'_{\hat{I}}$ является решением уравнения $A_{\hat{I}}.X_{\hat{I}} \cong S_{\hat{I}}$ ($B_{\hat{I}}.X_{\hat{I}} \cong S_{\hat{I}}$).

Заключение. Таким образом, в настоящей работе предложен подход к решению уравнений для полуавтоматов с таймаутами относительно операции конкатенации, который основан на решении соответствующего уравнения для полуавтоматных абстракций компонентов уравнения. Следует отметить, что решение уравнения относительно временных полуавтоматов описывает вредоносные входные данные веб-сервиса и может использоваться для очистки входных данных от вредоносного содержимого. Любой подавтомат наибольшего решения уравнения $A.X \cong S$ ($X.B \cong S$) содержит последовательности, конкатенация которых с последовательностями временного полуавтомата A (временного полуавтомата B) небезопасна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. OWASP Top Ten [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owasp.org/www-project-top-ten/ (дата обращения 09.03.2023).
2. Fang Yu., Muath A., Tevfik B. Generating vulnerability signatures for string manipulating programs using automata-based forward and backward symbolic analyses // ASE 2009, 24th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering. – Auckland, New Zealand, 2009. – P. 1-18.
3. Kari L. On language equations with invertible operations // Theoret. Comput. Sci. – 1994. – Vol. 132.– P. 129-150.
4. Kolomeets A., Shirokova E., Gromov M., Yevtushenko N. Checking Robustness of Web Services based on Solving Automata Equations // 2021 IEEE 22nd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM). – 2021. – P. 499-502. – doi: 10.1109/EDM52169.2021.9507669.
5. Zhigulin M., Yevtushenko N., Maag S., Cavalli A. Fsm-based test derivation strategies for systems with timeouts // Proceedings of the 11th International Conference on Quality Software, QSIC 2011, July 13-14, 2011. – Madrid, Spain, 2011. – P. 141–149.

УДК 004.42:378.14

НОВЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ПОРТФОЛИО

Е.С. Шталина, Ф.Д. Пираков, А.П. Клишин
Научный руководитель: доцент, д.т.н., В.В. Кручинин
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
Томский государственный педагогический университет
Россия, г. Томск, ул. Киевская, 60, 634061
E-mail: shtalina03@gmail.com

NEW APPROACH TO EDUCATIONAL PROCESS MANAGEMENT USING ELECTRONIC PORTFOLIO

E.S. Shtalina, F.D. Pirakov, A.P. Klishin
Scientific Supervisor: Ass. Prof., Dr., V.V. Kruchinin
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
Tomsk State Pedagogical University, Russia, Tomsk, Kievskaya str., 60, 634061
E-mail: shtalina03@gmail.com

Abstract. *The article is devoted to a new approach to managing the learning process using an electronic portfolio. The article discusses the possibilities of a cognitive approach in managing the educational process in the context of digitalization of education, as well as the design and development of a digital profile of a graduate.*

Введение. Сфера высшего образования в настоящее время претерпевает фундаментальные изменения с точки зрения роли в экономике и обществе, принципов и методов работы, организации и управления. Цифровые технологии быстро распространяются и обновляются, открывают неограниченные возможности для доступа к цифровым инструментам. Процесс цифровизации способствует ускоренному развитию цифровой грамотности и внедрению новый IT-технологий, что позволяет изучать, исследовать и формировать персональные траектории обучения, с обозначением групп дисциплин, в которых учащийся показывает наилучшие результаты в ходе их изучения [1]. Учащиеся и педагоги получают полный контроль над своим информационным пространством и его совместным использованием.

Система электронного портфолио должна служить инструментом активного обучения студентов, быть интеллектуальной средой личного обучения, а не только использоваться как инструмент оценки успеваемости или демонстрации достижений учащихся в различных сферах деятельности и обучения.

Цель данной работы заключалась в поиске эффективных механизмов управления учебного процесса с применением цифрового профиля выпускника в границах системы электронного портфолио.

Экспериментальная часть. Когнитивный подход к управлению слабоструктурированных систем направлен на разработку формальных моделей и методов, поддерживающих интеллектуальный процесс решения проблем благодаря учету в этих моделях и методах когнитивных возможностей (восприятие,

представление, познание, понимание, объяснение) субъектов управления при решении управленческих задач [2]. Подход был опробован на различных социально-экономических, экологических, образовательных и других сложных системах.

В основе образовательных подходов лежит необходимость развития различных видов интеллектуальных способностей студентов с опорой на достижения в области информационных технологии и хорошо развитый интеллект с цифровыми компетенциями.

Цифровой профиль выпускника. Цифровой профиль выпускника (студента) – это система для отображения компетенций, приобретенных студентом в процессе изучения различных дисциплин в Вузе, а также для представления достижений и веб-отображения образовательной траектории.

Мониторинг и изучение цифрового профиля показывают, что когнитивная компетентность учащихся включает в себя следующие компоненты: мотивационную, познавательную и рефлексивно-оценочную, а также определяет способность к реализации когнитивных механизмов (анализа, планирования, целеполагания, рефлексии и др.) [3]. С использованием системного анализа предметной области был разработан программный прототип цифрового профиля студента(выпускника) (рис. 1).

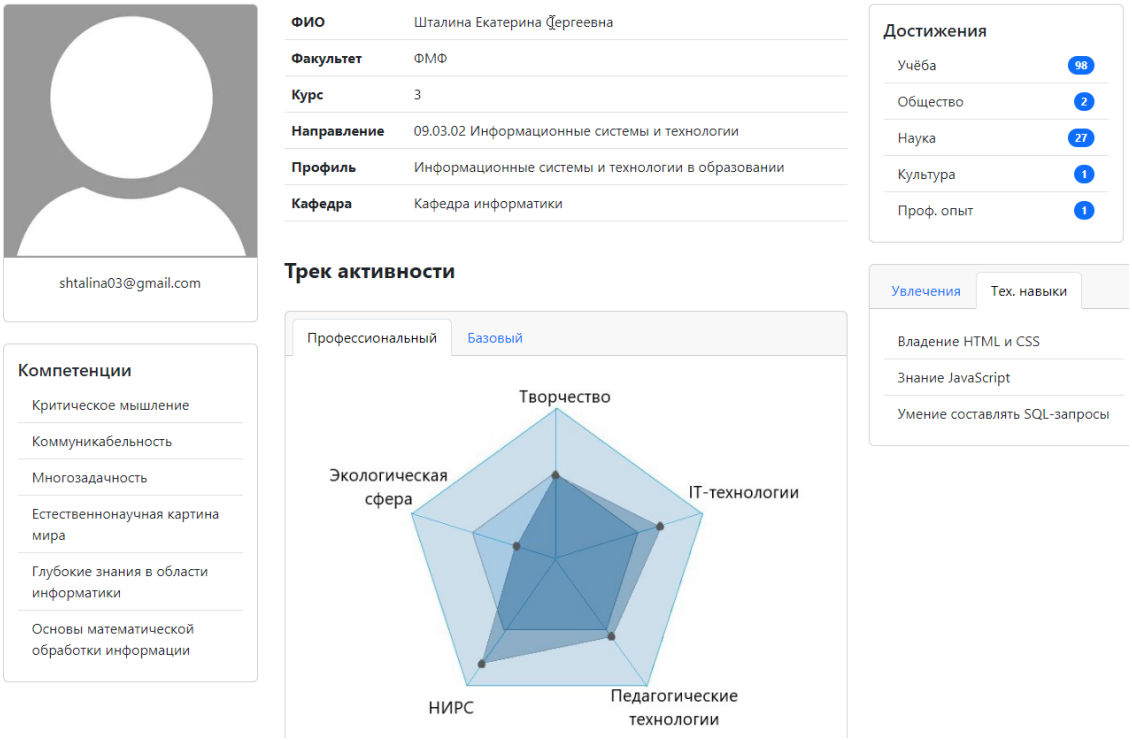


Рис.1. Программный прототип цифрового профиля

Модель выпускника вуза должна рассматриваться как совокупность освоенных знаний и приобретенных общих и профессиональных компетенций. Параметрами модели могут выступать: требования, предъявляемые к выпускнику в соответствии с профстандартами; требования работодателей, формируемые исходя из текущей социально-экономической ситуации в регионе и стране; набор личностных характеристик выпускника, способствующих эффективному взаимодействию с коллегами и

в обществе в целом; набор характеристик, раскрывающих представление и уровень знаний о профессиональной сфере [4].

Результаты. Внедрение новых автоматизированных систем в информационное пространство вуза, позволило формировать и анализировать данные с помощью единой электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС). Анализ данных, содержащихся в ЭИОС и системе электронного портфолио, позволил выявить необходимые данные для создания подсистемы управления учебным процессом с использованием системы электронного портфолио и цифрового профиля выпускника

Для эффективной работы подсистемы управления была создана система управления базой моделей, состоящая из следующих моделей: математической, когнитивной и стратегической, которые предназначены для обработки данных студентов. С помощью математической модели рассчитываются рейтинги (учебной деятельности и общественной деятельности), рассчитываются показатели персональных траекторий развития студентов (цифровой профиль), а также формируется список мероприятий на основе предпочтений студентов.

Когнитивная модель в свою очередь помогает воздействовать на зоны образовательно роста студентов, совершенствоваться и принимать эффективные управленческие решения. Стратегическая модель позволяет формировать управляющие рекомендации, предназначенные для руководства вуза на основе анализа данных учебного процесса.

Заключение. В результате проведённых исследований была разработана подсистема управления учебным процессом с использованием цифрового профиля и электронного портфолио, как дополнительный элемент к организационной структуре Вуза. Подсистема управления учебным процессом позволяет собирать, обрабатывать и анализировать загруженные данные с использованием разработанных моделей. Обработка данных в подсистеме позволяет формировать два типа воздействия на учебный процесс, что в целом ведет к улучшению его основных характеристик (успеваемость, вовлеченность обучающихся и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пираков Ф.Д., Клишин А.П., Ерёмина Н.Л., Клыжко Е.Н. Разработка и применение системы электронного портфолио обучающегося в вузе // Вестн. НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2019. – Т. 17., № 4. – С. 87-100.
2. Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И., Максимо В.И. Когнитивный подход в управлении // Проблемы управления. – 2007. – № 3. – С. 2-8.
3. Лемешова Е.В. Формирование у студентов когнитивной компетентности на основе интерактивных технологий обучения в вузе // Вестн. Брянского гос. ун-та. – 2015. – № 1. – С. 48-53.
4. Плешков К.В., Леонтьева И.А., Бабешкова Е.В. Механизм практического применения компетентностной модели выпускника вуза на основе использования цифровых технологий // Oeconomia et Jus. – 2021. – № 3. – С. 35-42.

УДК 537.525

О ВЛИЯНИИ РЕЖИМОВ ГОРЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАЗРЯДОВ НА ОДНОРОДНОСТЬ ПЛОТНОСТИ ТОКА ИСТОЧНИКА ЛЕНТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

Ж.Э. Дагри, Т.В. Якобчук

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.С. Климов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники.

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: tusur_fizika@mail.ru

ON THE EFFECT OF BURNING REGIMES OF ADDITIONAL DISCHARGE ON THE UNIFORMITY OF THE CURRENT DENSITY OF A STRIP ELECTRON BEAM SOURCE

J.E. Dagri, T.V. Yakobchuk

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A. S. Klimov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: tusur_fizika@mail.ru

Abstract. *The article shows the influence of the distribution of the current of additional discharges on the uniformity of the current density of a strip electron beam. A source with a double discharge system was used to generate the electron beam. The source created an electron beam with a current of up to 400 mA under high vacuum conditions of 2-4×10^{-2} Pa. It is shown that a change in the current of additional cathodes leads to a change in the uniformity of the electron beam current within 10% of the average value.*

Введение. Эффективное использование ресурсов и бережное отношение к окружающей среде в настоящее время являются одними из основных требований к технологиям в области машиностроения, аэрокосмической и автомобильной промышленности, приборостроения и других отраслей промышленности. Среди многообразия методов модификации поверхности электронно-ионно-плазменные процессы являются наиболее безопасными для окружающей среды [1, 2]. Использование плазменных разрядов низкого давления открывает возможности химической очистки и активации поверхностей материалов, их химической и термической обработки [3], плазменного нанесения особо твердых и износостойких покрытий. Для удовлетворения всего спектра потребностей пучково-плазменной обработки требуется создание электронных источников способных функционировать в широком диапазоне давлений – от 0,01 до 100 Па. Часть этого диапазона перекрывают форвакуумные плазменные электронные источники ленточных пучков [4]. Расширение диапазона давлений таких источников требует модификации конструкции для обеспечения зажигания и горения разряда в области низких давлений. Целью данной работы является определение влияния условий горения тлеющего разряда в двухкатодной разрядной системе электронного источника ленточного пучка электронов на однородность распределения плотности тока пучка.

Экспериментальная часть. Схема экспериментальной установки с двумя катодами, работающими на один общий полый анод, а также схема подключения источника электропитания показаны на рис. 1. Основными элементами источника являются цилиндрические полые катоды 1, 2

дополнительных разрядов, полый катод основного разряда 3, плоский анод основного разряда 4 и экстрактор 5 служащий одновременно базовым фланцем электронного источника. При этом полый катод основного разряда является и анодом для дополнительных разрядов. Катоды изготовлены из нержавеющей немагнитной стали. Размеры дополнительных катодов: длина внутренней части катодной полости 12 см, диаметр - 4 см. Полый катод основного разряда представляет собой цилиндр с внутренним диаметром 10 см и длиной 260 см. Плоский анод основного разряда содержит водяную рубашку охлаждения и протяженное эмиссионное окно размерам 22 × 1 см^2. Сетка 6 из нержавеющей стали с прозрачностью 70 % и размером ячейки 0,5 × 0,5 мм^2, перекрывающая эмиссионное окно в аноде, определяет границу эмиссии плазмы 7. Извлечение электронов осуществляется путем приложения ускоряющего напряжения между анодом основного разряда и экстрактором от высоковольтного источника 8.

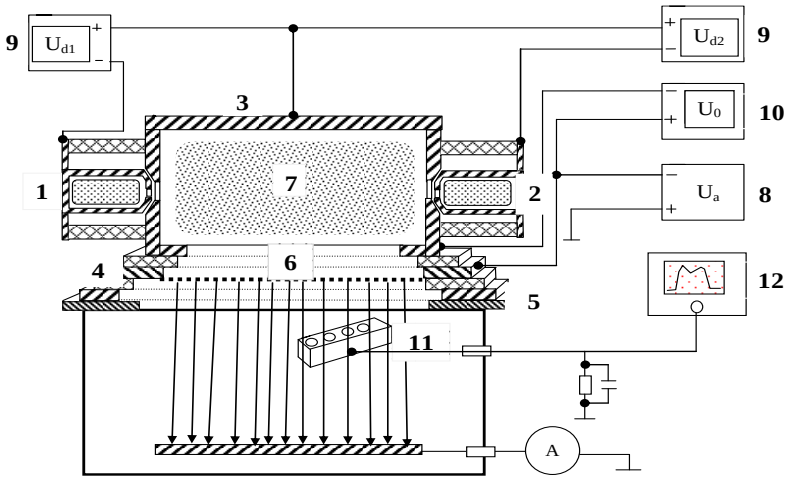


Рис. 1. Экспериментальная установка

Электропитание дополнительных и основного разряда осуществляется с помощью стабилизированных источников 9-10. В качестве рабочего газа использовался аргон с чистотой 99,99 %. Во всех экспериментах величина давления составляла 3,2 × 10^{-2} Па, ток основного разряда составлял 200 мА, токи дополнительных разрядов варьировались в пределах 200-600 мА при работе двух источников. Для измерения распределения плотности эмиссионного тока использовали подвижный токовый коллектор 11. Приемная площадь коллектора представляла собой диск диаметром 4 мм. Сигнал с коллектора через сопротивление 330 кОм подавался на осциллограф 12 марки Tektronix TDS 2024B и затем обрабатывался программными средствами.

Результаты. Распределение плотности тока вдоль эмиссионного окна источника показаны на рис. 2. Как можно видеть при одновременном включении дополнительных разрядов распределение плотности тока представляет собой плато, кривая 1 рис. 2. Неоднородность, рассчитанная как отклонение от среднего значения плотности тока, составляет порядка 12 %. Включение дополнительных полых катодов по отдельности приводит к возрастанию плотности тока, извлекаемого из области близкой к работающему дополнительному полому катоду, кривые 2 и 3 на рис. 2. Как видно плотность тока в правой части распределения в этом случае выше, чем в левой. Варьированием тока дополнительных разрядов возможно получить более равномерное распределение при не слишком высокой величине энергии электронов пучка, рис. 3. При токах 0,15 и 0,30 А на левом и правом дополнительных катодах, соответственно, неоднородность распределения плотности тока не превышает 10 %.

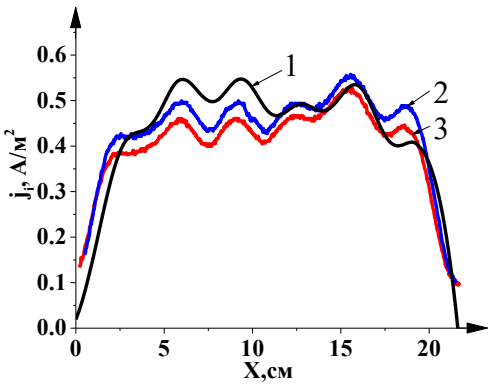


Рис. 2. Распределение плотности тока пучка: 1 – при одновременной работе катодов с током 0,15 А, при работе только правого катода с током 2 – 0,150 А и 3 – 0,6 А. Ускоряющее напряжение 1 кВ

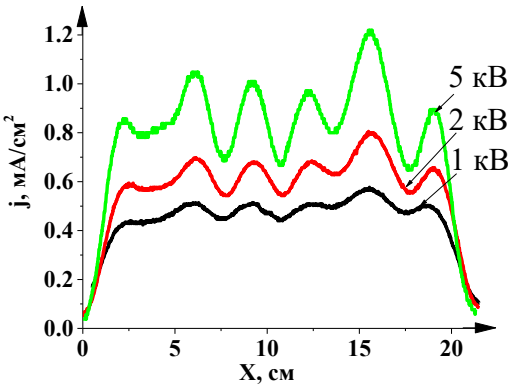


Рис. 3. Распределение плотности тока пучка при работе правого катода с током 0,15 А и левого 0,6 А. Ускоряющее напряжение показано на рисунке

Заключение. Результаты, полученные в данной работе, показывают, что на распределение плотности тока ленточного электронного пучка вдоль эмиссионного окна оказывает влияние величина токов дополнительных разрядов и их соотношение. Изменение распределения плотности тока не пропорционально изменению тока дополнительных разрядов – при повышении тока в два раза соответствующее изменение в распределении составляет менее 10 %. Однако стоит отметить, что и такого влияния достаточно для корректировки однородности плотности тока электронного пучка, генерируемого источником такого типа.

Работа выполнена при поддержке Министерства высшего образования и науки, FEWM-2023-0012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Uhlmann E., Riemer H., An S., Fröhlich M., Paschke H., Petersen M. Ecological and functional optimization of the pretreatment process for plasma based coatings of cutting tools // Procedia Manufacturing. – 2019. – P. 618-624.
2. Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф., Девятков В.Н., Шугуров В.В., Тересов А.Д., Петрикова Е.А. Развитие комплексного электронно-ионно-плазменного метода модификации поверхности материалов и изделий // Известия вузов. Физика. – 2020. – С. 174-183.
3. Ландль Н.В., Королев Ю.Д., Козырев А.В., Лопатин И.В. Методы оценки концентрации плазмы в полом аноде большого объема // Известия вузов. Физика. – 2022. – С. 112-118.
4. Klimov A., Bakeev I., Oks E., Zenin A. Forevacuum plasma source of continuous electron beam // Laser and Particle Beams. – 2019. – Vol. 37., № 2. – P. 203-208.

УДК 537.52

МАКСИМАЛЬНЫЙ ТОК КОНТРАГИРОВАННОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА ПРИ МИЛЛИСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА В ФОРВАКУУМНОМ ПЛАЗМЕННОМ ИСТОЧНИКЕ ЭЛЕКТРОНОВ

А.В. Казаков, Н.А. Панченко, А.Р. Яткина

Научный руководитель: к.т.н. А.В. Казаков

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: yatkina_01@mail.ru

MAXIMUM CURRENT OF A CONSTRICTED ARC DISCHARGE AT MILLISECOND PULSE DURATION IN A FOREVACUUM PLASMA ELECTRON SOURCE

A.V. Kazakov, N.A. Panchenko, A.R. Yatkina

Scientific Supervisor: PhD. A.V. Kazakov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: yatkina_01@mail.ru

Abstract. *The use of a sectional constricting channel provides stable operation of a constricted arc discharge at millisecond pulse duration in a forevacuum plasma electron source. An increasing the gas pressure and using a heavier gas provide a higher maximum current of the constricted arc at millisecond pulse duration.*

Введение. Дуговой разряд с катодным пятном в импульсных плазменных источниках электронов часто применяется для генерации эмиссионной плазмы, из которой извлекаются формирующие электронный пучок электроны, поэтому от ее характеристик, в свою очередь, зависят параметры источника электронов [1]. Указанный тип дугового разряда имеет существенные достоинства, к ним относят, например, большую длительность импульса и большой ток разряда, но имеются и недостатки, которые обусловлены особенностями функционирования катодного пятна. В частности, можно отметить недостаток, который приводит к снижению электрической прочности ускоряющего промежутка источника, что происходит из-за того, что при функционировании катодного пятна, формируются потоки микрокапель и паров материала катода, которые могут проникать в область ускорения и транспортировки пучка. В традиционных плазменных источниках, генерирующих пучки заряженных частиц при давлении не более 0,1 Па, для снижения влияния процессов, связанных с катодными пятнами, применяется контрагированный дуговой разряд [1, 2]. Для этого используется дополнительный промежуточный (вспомогательный) металлический электрод с узким каналом (контрагирующий канал), который устанавливается между катодом и анодом. Максимальный ток разряда контрагированной дуги ограничен некоторым верхним пределом, превышение которого приводит к переходу в каскадный режим или погасанию разряда [1, 2]. С целью достижения более высоких токов контрагированной дуги в традиционных источниках используется секционный контрагирующий канал [3]. Аналогичный подход может быть использован и в импульсном форвакуумном плазменном источнике электронов, функционирующем при давлении до десятков паскаль.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании возможности применения составного (секционного) контрагирующего канала в импульсном форвакуумном источнике электронов для обеспечения миллисекундной длительности импульса.

Экспериментальная часть. Для исследования контрагированного дугового разряда использовалась разрядная система форвакуумного плазменного источника электронов (рис. 1), описание которого представлено в [4]. Разрядная система состоит из поджигающего электрода и токоввода, которые выполнены из нержавеющей стали, цилиндрического медного катода (диаметр 6 мм), полого анода из нержавеющей стали и промежуточного (контрагирующего) электрода. В настоящей работе использовался составной контрагирующий электрод, состоящий из 7 танталовых пластин, которые изолированы друг от друга и образуют секции контрагирующего канала (КК). Общая протяженность составного КК в экспериментах была 3 мм, а радиус – 1,5 мм. Высоковольтный капролоновый изолятор обеспечивает электрическое разделение разрядного промежутка от ускоряющего электрода и вакуумной камеры, откачиваемой механическим насосом. Поскольку источник работает в изобарном режиме, то регулирование рабочего давления p в вакуумной камере, обеспечиваемое скоростью подачи рабочего газа (азот, аргон), обеспечивает соотвествующее изменение давления в разрядной системе. Импульсным блоком питания, обеспечивающим ток разряда I_d до 100 А и длительность импульса τ_d до 10 мс, производилось питание контрагированного дугового разряда.

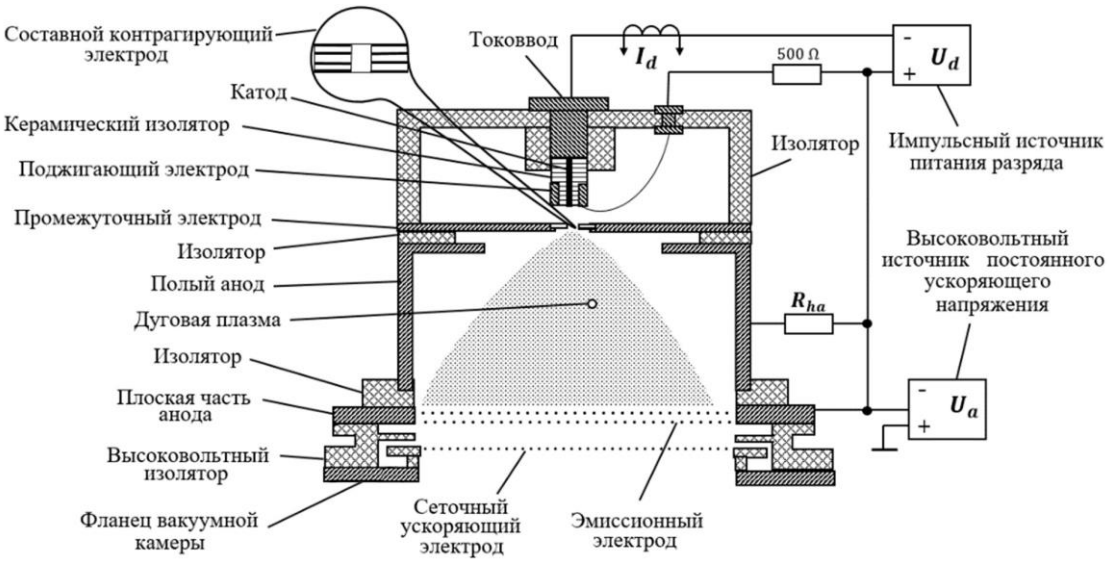


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Результаты. Установлено, что использование секционного КК может обеспечить стабильное функционирование контрагированного дугового разряда в форвакуумном источнике электронов при миллисекундной длительности импульса. В ходе экспериментов так же проведено исследование влияния давления и рода газа на максимальный ток $I_{d\text{-}max}$ контрагированного дугового разряда при длительности импульса τ_d = 2 мс. Увеличение давления обеспечивает рост максимального тока $I_{d\text{-}max}$, при этом использование аргона вместо азота обеспечивает более высокий максимальный ток $I_{d\text{-}max}$ (рис. 2). Кроме того, аргон также обеспечивает стабильную работу при более низком давлении газа. Поскольку предельные параметры контрагированной дуги ограничены «электронной откачкой» в КК и переходом в

каскадный режим, т.е. возникновением катодного пятна на промежуточном электроде [1], то наблюдаемые результаты можно объяснить следующим образом. При использовании секционного КК миллисекундный диапазон длительности импульса обеспечивается вследствие невозможности инициирования катодного пятна на последней секции КК со стороны анода, а также поступлением «дополнительных» газовых нейтралей из полостей между танталовыми пластинами, формирующими КК.

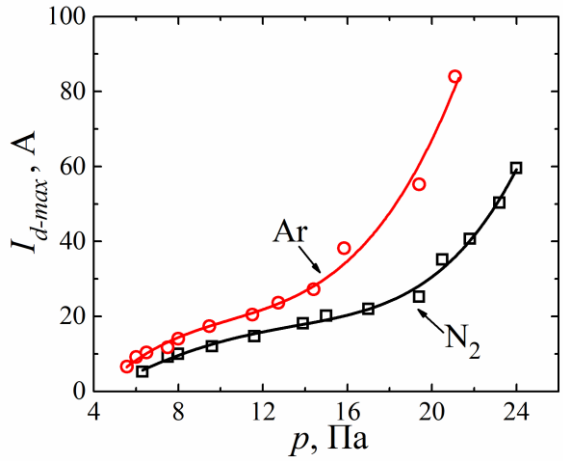


Рис. 2. Зависимость максимального тока контрагированной дуги от давления газа при τ_d = 2 мс

Заключение. Использование секционного контрагирующего канала может обеспечить стабильное функционирование контрагированного дугового разряда при миллисекундной длительности импульса в форвакуумном источнике электронов. При этом увеличение давления газа и использование более тяжелого газа обеспечивают больший максимальных ток.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FEWM-2023-0012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения. – Томск : Изд-во НТЛ, 2005. – 216 с.
2. Девятков В.Н., Коваль Н.Н. Плазменные сеточные катоды на основе контрагированного дугового разряда для генерации импульсного интенсивного низкоэнергетического электронного пучка в плазмонаполненном диоде с продольным магнитным полем // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2019. – Т. 83, № 11. – С. 1509-1513.
3. Галанскищ В.Л., Крейндель Ю.Е., Окс Е.М., Щанин П.М. Контрагированный сужением самосжатый разряд в плазменном эмиттере электронов // ЖТФ. – 1985. – Т. 55, № 9. – С. 1854-1857.
4. Kazakov A.V., Medovnik A.V., Oks E.M., Panchenko N.A. Parameters and characteristics of a pulsed constricted arc discharge operating in a forevacuum-pressure plasma-cathode electron beam source // Vacuum. – 2021. – V. 186. – P. 110071.

Научное издание

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Том 7. IT-технологии и электроника

Сборник научных трудов
XX Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых

Компьютерная верстка *С.А. Поробова*

Зарегистрировано в Издательстве ТПУ
Размещено на корпоративном портале ТПУ
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ