

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ

Том 7. IT-технологии и электроника

Сборник научных трудов  
XVI Международной конференции студентов, аспирантов  
и молодых ученых  
23–26 апреля 2019 г.

# PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

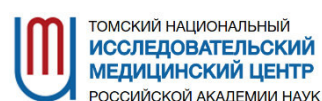
Volume 7. Information Technologies and Electronics

Abstracts

XVI International Conference of students, graduate students  
and young scientists  
April 23–26, 2019



Национальный  
исследовательский  
**Томский  
государственный  
университет**



Томск 2019

УДК 501:004(063)

ББК 72:32.81л0

П27

П27 **Перспективы развития фундаментальных наук** : сборник трудов XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 23–26 апреля 2019 г.). в 7 томах. Том 7. IT-технологии и электроника / под ред. И.А. Курзиной, Г.А. Вороновой. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 129 с.

ISBN 978-5-4387-0889-6 (т. 7)

ISBN 978-5-4387-0882-7

Сборник содержит труды участников XVI Международной конференции «Перспективы развития фундаментальных наук», представленные на секции «IT-технологии и электроника».

Представлены доклады в области интеллектуальных систем управления, автоматизированных систем обработки информации и управления, информационной безопасности, нанoeлектроники, 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 измерений.

**УДК 501:004(063)**

**ББК 72:32.81л0**

*Редакционная коллегия*

И. А. Курзина, доктор физико-математических наук, доцент;

Г. А. Воронова, кандидат химических наук, доцент;

С. А. Поробова.

**ISBN 978-5-4387-0889-6 (т. 7)**

**ISBN 978-5-4387-0882-7**

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2019



Национальный  
исследовательский  
Томский  
государственный  
университет

## АВТОНОМНАЯ МАГИСТЕРСКАЯ ПРОГРАММА «ТРАНСЛЯЦИОННЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ И БИМЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»



Химический  
факультет



САЕ Институт («Умные  
материалы и технологии»)

Направление подготовки  
Факультет  
Форма обучения

Химия  
Химический факультет  
Очная с элементами  
дистанционного обучения  
2 года  
Русский  
10

Продолжительность программы  
Язык обучения  
Бюджетные места

### Условия приёма

Приём на первый курс магистратуры проводится на конкурсной основе по заявлениям лиц, имеющих высшее образование (бакалавриат или специалитет) по результатам вступительных испытаний.

**Вступительные испытания:** экзамен по химии, собеседование.

Магистерская программа включает возможность обучения по программе двойного диплома совместно с университетом Chemie Paris Tech (Франция). На 2-м курсе обучение осуществляется на площадках Chemie Paris Tech. За период обучения по одной программе магистратуры возможно получить дипломы двух Университетов, углублено освоить курсы химической технологии и инженерии материалов.

### КЛЮЧЕВЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ ПРОГРАММЫ

Основы общей  
иммунологии

Введение в медицинскую  
биологическую химию

Молекулярные методы  
в биомедицинских  
исследованиях

Элементы физической  
химии в процессах  
жизнедеятельности

Основы клеточной  
биологии  
и диагностики клеточных  
систем

Химические технологии  
в медицине.  
Биоматериаловедение

Молекулярная онкология

Основы метрологии, стандартизации и сертификации в области разработки и производства фармацевтических субстанций и биомедицинских материалов

### 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, [elenas6691@gmail.com](mailto:elenas6691@gmail.com)  
Заявки оставляйте на сайте: [smil.tsu.ru/ru](http://smil.tsu.ru/ru)

[chembiomed](#)

[chembiomed](#)

[chembiomed](#)



### ПРЕИМУЩЕСТВА ПРОГРАММЫ



Обучение современным химическим и биомедицинским технологиям осуществляется на базе научных центров ТГУ, г. Томска, университетов Гейдельберга и Мюнстера (Германия)



Ведущие зарубежные и российские специалисты



Индивидуальная образовательная траектория



Более 30% учебных дисциплин составляют курсы по выбору



Востребованность специалистов по трансляционным химическим и биомедицинским технологиям

### ВЕДУЩИЕ ПРЕПОДАВАТЕЛИ



**Курзина Ирина Александровна**  
Руководитель магистерской программы:

д.ф.м.н., доцент, профессор кафедры физической и коллоидной химии ХФ ТГУ, зам. заведующего лабораторией трансляционной клеточной и молекулярной биомедицины, НИ ТГУ, Томск, Россия.



**Кижковская 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 Иммуитета 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, ведущий научный сотрудник лаборатории трансляционной и клеточной биомедицины НИ ТГУ.



**Журина 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 Wilhelms University, Muenster. Руководитель блока инновационных материалов для регенеративной медицины, Мюнстер, Германия





- Тестирование
- 4 курс
- Бакалавриат
- 1 и 2 семестры
- TSU
- 3 и 4 семестры
- Chimie ParisTech
- 5 семестр
- СnPT
- стажировка
- 6 семестр
- Защита
- 2 диплома
- (TSU, Chimie ParisTech)



**Chimie ParisTech + TSU**  
 Междисциплинарная  
 магистерская программа  
 двойного диплома



**ТВОЯ**  
 образовательная  
 траектория

**«Трансляционные химические  
 и биомедицинские технологии»**



**Chimie ParisTech (Франция)** - французская высшая школа, член объединения ParisTech. Престижное образование в направлении химической технологии

**Направление подготовки:**  
 техническое

**Условия участия:**

1. Средний балл успеваемости не ниже 4.5
2. Рекомендация декана факультета/научного руководителя
3. Уровень английского/французского языка не ниже upper-intermediate.

**Форма обучения:** очная

**Продолжительность программы:** 3 года

**Язык обучения:** французский, английский

При успешном окончании программы двойного диплома, студенты Chimie ParisTech дополнительно получают степень магистра в ТГУ, а студенты ТГУ дополнительно получают степень «Diplôme d'Ingénieur de Chimie ParisTech» в Chimie ParisTech (соответствует степени магистра в области инженерных наук).

WWW: <http://smti.tsu.ru/ru/diplome-dingénieur-de-chimie-paristech/>  
 Телефон: + 7 (3822) 78 56 21  
 E-mail: [gulnara.voronova@gmail.com](mailto:gulnara.voronova@gmail.com)



**СОДЕРЖАНИЕ**

LUNG NODULE ANALYSIS AND DIAGNOSIS OF PULMONARY FIBROSIS THROUGH DEEP LEARNING <b>N.J. Francis, N.S. Francis</b>	8
IDENTIFICATION OF BRONCHOPULMONARY LUNG SEGMENTS THROUGH SHADOWING AND CONVENTIONAL NEURAL NETWORKS <b>N.S. Francis, N.J. Francis</b>	11
SELECTION OF OPTIMAL STABLE HIGH-VOLTAGE POWER SUPPLY FOR PHOTOMULTIPLIER TUBE OF SCINTILLATION DETECTOR <b>R.E. Kelsingazina, A.V. Vukolov, E.A. Tymoshenko</b>	14
СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ПРОПУСКАНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ СТРУКТУР GAN/INGAN, ВЫРАЩЕННЫХ НА САПФИРОВОЙ ПОДЛОЖКЕ <b>К.Г. Аксенов, А.В. Михайленко, А.С. Егорова</b>	17
ПОТЕНЦИАЛ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МИШЕНИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В ФОРВАКУУМЕ <b>П.В. Алексеевский, К.И. Карпов</b>	20
ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ ЧАСТОТЫ ОСНОВНОГО ТОНА РЕЧЕВОГО СИГНАЛА <b>Ю.В. Андреева</b>	23
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАЗМЫ В ЭМИССИОННОМ КАНАЛЕ ФОРВАКУУМНОГО ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ <b>А.П. Андрейчик, М.А. Бармин, К.А. Василькевич</b>	26
АНСАМБЛИ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПО РУКОПИСНОЙ ПОДПИСИ <b>С. Н. Аримпилов</b>	29
ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ РУКОПИСНЫХ ПОДПИСЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ <b>М.Б. Бардамова</b>	32
МОДУЛЯЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ ПРИ ОПТИЧЕСКОМ ИНДУЦИРОВАНИИ КАНАЛЬНЫХ ВОЛНОВОДНЫХ СТРУКТУР <b>А.Д. Безпальный</b>	35
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ГОЛОСОВОГО ВВОДА В ВИДЕ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ЗАПОЛНЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ КАРТОЧЕК ПАЦИЕНТОВ <b>Д.Д. Богданов, И.С. Демченко</b>	38
АЗОТИРОВАНИЕ ТИТАНА ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В СРЕДНЕМ ВАКУУМЕ <b>Е.А. Гвозденко, Д.Б. Золотухин, А.В. Тюньков</b>	41
ДВУХКОНТУРНАЯ СИСТЕМА ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ИНВЕРТИРУЮЩЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ <b>И.Е. Гедзенко</b>	44
ПРИМЕНЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ДРОССЕЛЕЙ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ <b>П.В. Дмитренко</b>	47
ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТОВ ДВУХПУЧКОВЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ <b>В.О. Долгирев, Д.И. Дудник</b>	50
РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ АНОДНОГО ЭЛЕКТРОДА СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ ОБРАТНЫМ ИОННЫМ ПОТОКОМ В ФОРВАКУУМНОМ ИМПУЛЬСНОМ ИСТОЧНИКЕ ЭЛЕКТРОНОВ <b>А.О. Терехин, А.С. Дыхова, А.В. Казаков</b>	53
ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ ТГС ДЛЯ ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ <b>А.Я. Жамус, Д.М. Ежов</b>	56

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО КОРПУСА С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЗАПОЛНЕНИЕМ <b>А.А. Иванов</b>	59
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО СВЕТЛОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО СОЛИТОНА В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ НИОБАТЕ ЛИТИЯ С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА <b>Н.А. Иванченко, М.Н. Гаппарова, Д.К. Романенко</b>	62
ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С ТЕРМАЛЬНО АКТИВИРОВАННОЙ ЗАМЕДЛЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИЕЙ В OLED <b>Н.В. Измайлова, А.В. Олод</b>	65
ГЕНЕРАЦИЯ ЭМИССИОННОЙ ПЛАЗМЫ МИЛЛИСЕКУНДНЫМ ДУГОВЫМ РАЗРЯДОМ В РАЗРЯДНОЙ ЯЧЕЙКЕ ФОРВАКУУМНОГО ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ <b>А.В. Казаков, А.В. Медовник, Т.Э. Юлдашбаев</b>	68
О ВЛИЯНИИ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СПЕКАНИЕ АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ В ФОРВАКУУМЕ <b>В.В. Каранский, А.С. Климов, А.А. Зенин</b>	71
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВАЖНОСТИ ПРИЗНАКОВ ПАЦИЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ РЕЗИСТЕНТНОСТИ К ПРОТИВОТУБЕРКУЛЕЗНЫМ ЛЕКАРСТВЕННЫМ СРЕДСТВАМ <b>Е.В. Кащеева</b>	74
СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ ПАЦИЕНТА <b>Е. Т. Князева</b>	77
СИСТЕМА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПУНКТА ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ <b>О.Н. Кокорев, Гибадулина Т.А.</b>	80
АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА НАЛОГОВОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРЕДПРОВЕРОЧНОГО АНАЛИЗА НАЛОГОПЛАТЕЛЬЩИКА <b>А.С. Колтайс, Д.И. Тимуш</b>	83
МОДИФИКАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ U-NET ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ <b>К.А. Костин, С.А. Семёнов</b>	86
ОТОБРАЖЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ В МНОГОУРОВНЕВЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЯХ <b>М.И. Кочергин</b>	89
МЕТОДИКА ДЕАНОНИМИЗАЦИИ АВТОРА ИСХОДНОГО КОДА НА ОСНОВЕ МАШИНЫ ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИЗНАКОВ <b>А.В. Куртукова, А.С. Романов</b>	92
ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОМАНД ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ СИСТЕМЫ УМНОГО ДОМА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ <b>В.С. Леонтьев</b>	95
ТЕХНОЛОГИЯ ПОДБОРА ЦВЕТОВОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СОТРУДНИКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЕГО ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ <b>А.Д. Литвинова, И.Н. Ганиев</b>	98
КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ГРИД СИСТЕМЕ <b>О.В. Лобанов</b>	101
ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ПОЛИПРОПИЛЕНЕ МЕТОДОМ ИСПАРЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКОЙ МИШЕНИ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В ФОРВАКУУМЕ <b>А.В. Казаков, А.В. Медовник, А.В. Николенко</b>	104
COMPREHENSIVE REVIEW OF ROUTING PROTOCOLS IN WIRELESS ADHOC NETWORKS <b>Zh. Nurlan, T.K. Zhukabayeva, M. Othman</b>	107

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ И ГРАФИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ <b>А.С. Попов, И.Е. Меняйло, С.Г. Кузнецов</b>	110
МОДЕЛИРОВАНИЕ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ IDEF0 <b>А.А. Христолюбова</b>	113
ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ ЭМИССИОННОЙ ПЛАЗМЫ И ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА <b>В.Т.Чан</b>	116
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАЩИТЫ ОТ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОЙ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ <b>Е.Б. Черникова</b>	119
АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СВЧ МИС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАССИФИКАТОРА НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНОГО ПЕРСЕПТРОНА <b>Б.В. Ширяев, А.В. Безрук</b>	122
РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПО РАСПОЗНАВАНИЮ НОТ <b>А.Ю. Якимук, М.Д. Холопов</b>	125



**LUNG NODULE ANALYSIS AND DIAGNOSIS OF PULMONARY FIBROSIS THROUGH DEEP  
LEARNING**

N.J. Francis, N.S. Francis

Scientific Supervisor: Asst Prof. Sergey V Axyonov

Tomsk Polytechnic University, Lenin Avenue, 30, Tomsk, Tomskaya Oblast, 634050

E-mail: [natzina\\_92@yahoo.com](mailto:natzina_92@yahoo.com)**АНАЛИЗ ЛЕГОЧНЫХ УЗЕЛКОВ И ДИАГНОСТИКА ЛЕГОЧНОГО ФИБРОЗА С ПОМОЩЬЮ  
ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ**

Н.Д. Франсис, Н.С. Франсис

Научный руководитель: доцент, к.т.н Аксёнов С.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: [natzina\\_92@yahoo.com](mailto:natzina_92@yahoo.com)

***Аннотация.** Цель работы заключается в разработке алгоритма для выявления патологических образований, вызванных фиброзом в легких человека. Основой алгоритма является модель PSPNet, позволяющей сгруппировать множества наборов данных в соответствии с их сходством на основе диагностических признаков для выявления фиброза легких. Простая и эффективная структура алгоритма использует метод манипулирования пикселями с абразивными процессами на краях сегментов легких и приводит к локализации областей фиброза с высокой точностью.*

**Introduction.** The field of medical science is an ever-progressing area, where specialists of computer engineering constantly pursue perfection in the diagnosis of various diseases. Over the years, diagnosis of various lung diseases [1] has been difficult, and sometimes even impossible due to the lack of equipment. Pulmonary fibrosis is a condition where lungs are damaged or scarred by several factors, leading to even the death of the patient. Although radiologists have been involved in the detection process, certain abnormalities in the lungs can never be detected with the naked eye. Therefore, a system has been proposed for the automatic detection of pulmonary fibrosis based on CT images [2], to assist radiologists in this process even at a chance of 0.01% of occurrence.

Previously, in an attempt to detect fibrosis [3], a system was created to use a 2D convolutional neural network [4]. The datasets were trained to recognize images in its original size, and then convert them to a bitmap format. During the pre and post processing techniques, the Laplacian of Gaussian 5\*5 filter was used to isolate pixels and identify if fibrosis occurs at the edge of the lung or in its cavity. This attempt, though successful, failed to produce results if the image pixilation was weak, and if the lung CT image [2] had more nodules and abrasions.

Therefore, a new algorithm using a PSPNet with a pyramid pooling module [5] is now proposed to enhance the previous system of detecting pulmonary fibrosis with more accuracy.

**Methods and Technologies.** The system takes a training dataset as an input. This dataset contains High Resolution CT images [2]. Approximately CT images of 60 to 70 patients whose pathological conditions include

pulmonary fibrotic regions [3], and normal regions have been used for diagnosis. The pixilation of these images is modelled to provide different features of the lung. These modelled images are then separated into various subsets according to their similarities.

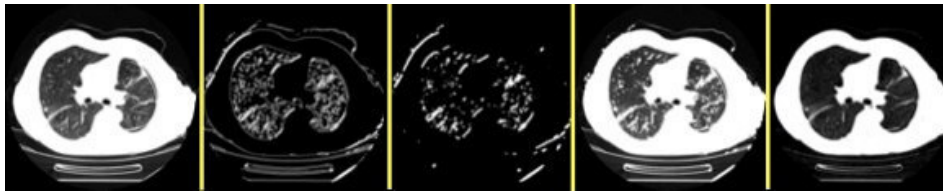


Fig.1. CT Scans with Different Textures and Variations with Various Pathological Conditions

The Pyramid Scene Parsing Network (PSPNet) is used since all subsets are fed in at once into the neural network. In this method, datasets with different textures (as shown in Fig 1) identify features in four different scales. Each scale forms a pyramid level, and each pyramid level reduces in size from bottom to top to form a single pyramid. The size of pyramid is maintained by a 1\*1 convolutional layer after every pyramid level. Hence, if the size of the lower most pyramid level is  $N$ , it reduces by  $1/N$  as it moves layer by layer upwards. During deconvolution, by using the bilinear interpolation technique, the size of the output image obtained is the same as that of the input image.

The network architecture is simple (as seen in Fig 2). The input image is first converted into a bitmap image. It is at the feature extraction stage [6,7] where the Neighbouring algorithm identifies every pixel in the bitmap and manipulates it as black and white pixels to display any nodules. The subsets of similar datasets that are grouped are then finally gathered in the pyramid pooling module. The four levels of the pyramid help to find the fibrotic regions in detail, which is then concatenated with the original image and convolved to determine the final output.

Binary Image Morphing [8,9] is used to remove any extra blobs or uncertainties in the image. In addition to this, Fuzzy Logic technique [9,10] is used to detect fuzziness [11]  $F$  near the edges of lung images. The blur of the fuzzy border is corrected by using the equation  $B=I*k$ , where  $I$  is the local patch and  $k$  is the point spread function of the blur of the image. The  $k$  nearest Neighbour algorithm [12,13] is then applied to identify the next fuzzy border pixels.

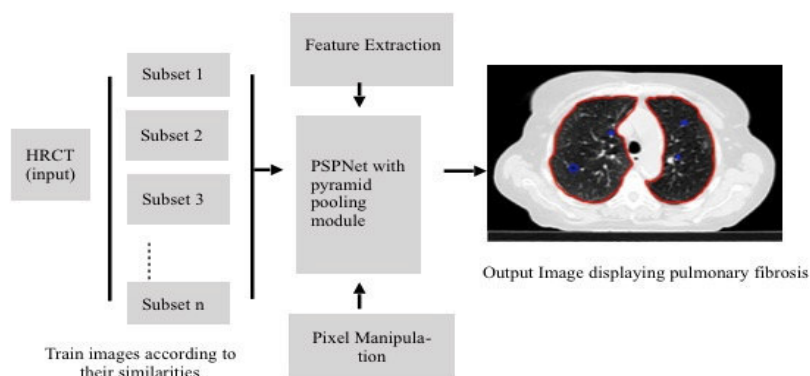


Fig. 2. Network Structure of the Overall Working Process

**Conclusion.** The above method helps to deal with different textures and data sets. By using Binary Image Morphing techniques [8] and Fuzzy Logic techniques, blurred edges [9,10] caused by pulmonary fibrosis are identified. With the help of PSPNet [5] as the convolutional neural network, fibrosis with various anomalies can be detected more accurately.

## REFERENCES

1. Lynch D.A, Sverzellati N, Travis W.D et al. (2018) Diagnostic criteria for idiopathic pulmonary fibrosis. A Fleischner Society White Paper. *Lancet Respir Med.* no. 6, pp. 138-153.
2. <http://tuberculosis.by/> Last visited 21.08.2018. Under construction.
3. Hu Z, Petoukhov S, Dychka I, He M. (eds) (2018) *Advances in Computer Science for Engineering and Education. ICCSEEA 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 754, pp. 638-647. Springer, Cham. 10.1007/978-3-319-91008-6\_63.
4. Tajbakhsh N, Shin J.Y, et al. (2016, May) Convolutional neural networks for medical image analysis: Full training or fine tuning?. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 35, no. 5, pp. 1299–1312.
5. Kochura I, Yu, et al. (2018) Data Augmentation for Semantic Segmentation. 10th Int. Conf. on Advanced Computational Intelligence (Xiamen, China).
6. Walsh S.L.F, Calandriello L, Silva M, Sverzellati N. (2018 September 16) Deep learning for classifying fibrotic lung disease on high-resolution computed tomography: a case-cohort study. *Lancet Respir Med.*
7. McBee M.P, Awan O.A, Colucci A.T. (2018, March 29) Deep learning in radiology. *Acad Radiol.* doi: 10.1016/j.acra.2018.02.018.
8. Samek W, Wiegand T, Müller K.R. (2018) Explainable artificial intelligence: Understanding, visualizing and interpreting deep learning models. *ITU Journal: ICT Discoveries - Special Issue 1 - The Impact of Artificial Intelligence (AI) on Communication Networks and Services* vol. 1, no. 1, pp. 39–48.
9. Zhao Q, Feng W, Wan L, Zhang J. (2015) SPHORB: A Fast and Robust Binary Feature on the Sphere. *Int. J. Comput. Vision*, vol. 113, no. 2, pp. 143–159.
10. Fan M, Huang R, Feng W, Sun J. (2017) Image blur classification and blur usefulness assessment. *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Multimedia & Expo Workshops (ICMEW)*.
11. Karami E., Prasad S., Shehata M. (2017) Image matching using SIFT, SURF, BRIEF and ORB: performance comparison for distorted images. arXiv: 1710.02726.
12. Wang Y, Jha S, and Chaudhuri K (2017). Analyzing the Robustness of Nearest Neighbors to Adversarial Examples, Smooth regression analysis. *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics, Series A.* arXiv:1706.03922. Watson, G. S. (1964).
13. Linardi M., Zhu Y., Palpanas T., Keogh E.J. (2018) Matrix Profile X: VALMOD – Scalable Discovery of Variable-Length Motifs in Data Series. In *Proceedings of the International Conference on Management of Data (SIGMOD)*. Pp.1053-1066.



**IDENTIFICATION OF BRONCHOPULMONARY LUNG SEGMENTS  
THROUGH SHADOWING AND CONVENTIONAL NEURAL NETWORKS**

N.S. Francis, N.J. Francis

Scientific Supervisor: Asst Prof. Sergey V Axyonov

Tomsk Polytechnic University, Lenin Avenue, 30, Tomsk, Tomskaya Oblast, 634050)

E-mail: [nadinesuzannefrancis@gmail.com](mailto:nadinesuzannefrancis@gmail.com)

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ БРОНХОЛЕГОЧНЫХ СЕГМЕНТОВ В ЛЕГКИХ  
С ПОМОЩЬЮ ЗАТЕНЕНИЯ И СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Н.С. Франсис, Н.Д. Франсис

Научный руководитель: доцент, к.т.н Аксёнов С.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: [nadinesuzannefrancis@gmail.com](mailto:nadinesuzannefrancis@gmail.com)

***Аннотация.** Цель работы заключается в разработке алгоритма для выявления патологических образований, вызванных фиброзом в легких человека. Основой алгоритма является модель PSPNet, позволяющей сгруппировать множества наборов данных в соответствии с их сходством на основе диагностических признаков для выявления фиброза легких. Простая и эффективная структура алгоритма использует метод манипулирования пикселями с абразивными процессами на краях сегментов легких и приводит к локализации областей фиброза с высокой точностью.*

**Introduction.** Radiologists contribute an enormous amount of time to identify various diseases from lung images. Technology can be used to analyze and accelerate the pathosis discerning process of a patient. Identifying bronchopulmonary lung segments during pathology analysis [5] provides doctors with an advantage to work only with the particular affected segments.

Although many researchers have performed segmentation [1] on lung CT images, these segmentation techniques are only shaped to detect veins [8], blood vessels or pathologies. In the recent years, scientists have found more profound segmentation methods [1] to identify lung lobes, but research is still carried on to identify bronchopulmonary segments.

Previously, in an attempt to perform segmentation on CT images, Canny Edge Detection algorithm along with various filters were used. This approach was not very effective as only one or two segments could be detected.

Taking the latest segmentation methods into consideration, a convolutional neural network proves efficient to identify multiple bronchopulmonary segments. R Mask CNN [2] has proved to be an exceptional neural network for segmentation [1] purposes. U-Net and Keras are used with R Mask CNN [2] every time the neural network repeats its cycle in training the dataset.

Furthermore, in order to reduce the size of the training dataset, shadowed and highlighted segments of the image are identified using a Ridge based Distribution Analysis method (RAD).

**Training Data and Functionality.** For the purpose of bronchopulmonary segmentation [3,5], the dicom image [4,7] obtained from Belarus Medical Centre should be first converted into a .jpeg or .png format. The lung image is then analyzed for different shadowed regions using RAD. During the RAD process, dominant structure points are first identified within the lung image. From these structure points, ridge points or points that distinguish one region from the other are identified. Connecting ridge points are then identified to form a histogram  $\Omega(x)$  using the formula:

$$S(x, \sigma) = N(x, \sigma_i) * (\nabla\Omega(x, \sigma_d) \cdot \nabla\Omega_t(x, \sigma_d))$$

Where  $\sigma_i$  is the size of the symmetric neighbourhood [11] forming the region within the lung image,  $x$  is the centre point of the field  $S$ ,  $\sigma = \{\sigma_i, \sigma_d\}$  and also the calculus of the vector field is given by a gaussian kernel.

Using this formula, the various shadowed regions are first detected and sent as the dataset into R Mask CNN [1,6] for training as seen in Fig1.

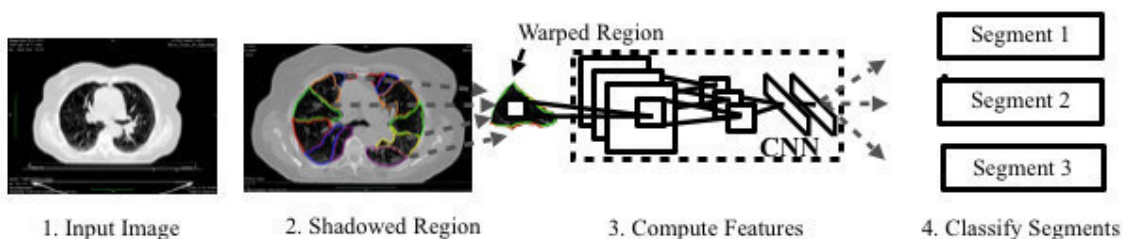


Fig 1. Mask R CNN Effective Functioning

The deep convolutional neural network used during this entire process is the Keras framework, known for its excellent segmentation properties [3,5]. During the first convolution, R Mask CNN is used. When the R Mask CNN repeats training, U-Net is used to simplify the training process and render classified segmented regions.

The softmax detector of U-Net is combined with the bbox regressor of R Mask CNN as seen in Fig2 to provide separate pulmonary lung segments.

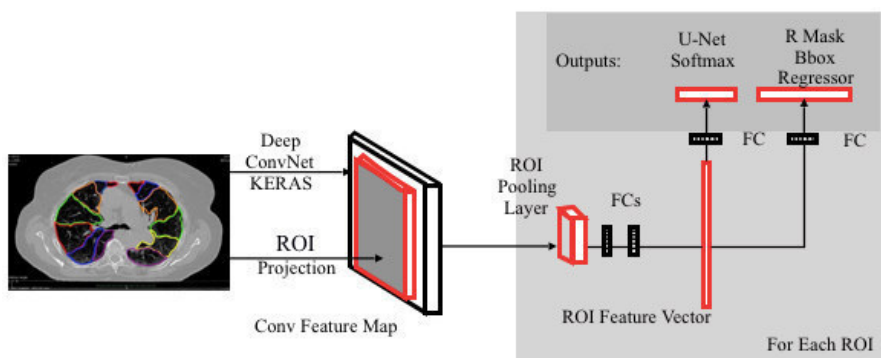


Fig 2. Combination of Two Convolutional Neural Networks

**Prediction and Performance.** Learning of shadowed regions within the lung helps in identifying segments that may not be visible otherwise. The enormous space occupied by R Mask CNN for the training of images is eliminated with the help of shadowed features as input and U-Net. There is a loss in output pixels due

to extraction and convolution. The loss function will include three elements pertaining to R Mask CNN and U-Net [1,6]. It includes:

$$L = L_{CLS(U)} + L_{box(R)} + L_{mask}$$

Where  $L_{CLS(U)}$  is the log loss from U-Net's softmax detector [1,6],  $L_{box(R)}$  is the loss [10] from R Mask CNN's bbox regressor, and  $L_{mask}$  is the loss [10] from the detected mask.

**Conclusion.** The main purpose for the detection of bronchopulmonary segments is to help radiologists identify pathologies [5] pertaining to the particular segment. Each segment is independent, and any anomaly in one segment does not affect the other segments. In comparison to older segmentation versions, the use of neural networks proves to be more efficient as internal features of the lung can be identified. The use of two different neural networks along with the shadow feature helps the setup to process images clearly and identify each segment more accurately.

## REFERENCES

1. Kochura, Yu, et al. (2018) Data Augmentation for Semantic Segmentation. 10th Int. Conf. on Advanced Computational Intelligence (Xiamen, China).
2. Rather N.N, Patel C.O, Khan S.A. (2017) Using Deep Learning Towards Biomedical Knowledge Discovery. IJMISC-International Journal of Mathematical Sciences and Computing (IJMISC), vol. 3, no. 2, pp.1.
3. Hu Z, Petoukhov S, Dychka I, He M. (eds) (2018) Advances in Computer Science for Engineering and Education. ICCSEEA. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 754, pp. 638-647. Springer, Cham. 10.1007/978-3-319-91008-6\_63.
4. <http://tuberculosis.by/> Last visited 19.09.2018. Under construction.
5. Harrison A.P, Xu Z, George K, Lu L, Summers R.M, Mollura D.J. (2017) Progressive and multi-path holistically nested neural networks for pathological lung segmentation from CT images. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention MICCAI, 20th International Conference, Quebec City, QC, Canada, September 11-13, 2017, Proceedings, Part III. Springer International Publishing, 2017, pp. 621–629.
6. Ganaye et al. (2018) Semi-supervised learning for segmentation under semantic constraints, MICCAI.
7. He K, Zhang X, Ren S, Sun J. (2016) Deep residual learning for image recognition. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.
8. Ultrasound Nerve Segmentation | Kaggle. (2018). Kaggle.com. Retrieved 2 April 2018.
9. Brownlee J. (2017) Gentle Introduction to the Adam Optimization Algorithm for Deep Learning-Machine Learning Mastery. Machine Learning Mastery. Retrieved 2 April 2018.
10. Bragman F.J.S, McClelland J.R, Jacob J, Hurst J.R, and Hawkes D.J. (2017, August) Pulmonary lobe segmentation with probabilistic segmentation of the fissures and a groupwise fissure prior. IEEE Transactions on Medical Imaging, vol. 36, no. 8, pp. 1650–1663.
11. Dou Q, Yu L, Chen H, Jin Y, Yang X, Qin J, Heng P.A. (2017) 3D deeply supervised network for automated segmentation of volumetric medical images. Medical Image Analysis, vol. 41, pp. 40–54.



**SELECTION OF OPTIMAL STABLE HIGH-VOLTAGE POWER SUPPLY  
FOR PHOTOMULTIPLIER TUBE OF SCINTILLATION DETECTOR**

R.E. Kelsingazina, A.V. Vukolov, E.A. Tymoshenko

Scientific Supervisor: M.S. Cherepnev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 2, 634028

E-mail: [ruziya\\_95@mail.ru](mailto:ruziya_95@mail.ru)

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СТАБИЛЬНОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО БЛОКА ПИТАНИЯ  
ФЭУ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА**

Р.Е. Келсингазина, А.В. Вуколов, Е.А. Тимошенко

Научный руководитель: М.С. Черепнев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, Томск, пр. Ленина, 2, 634028

E-mail: [ruziya\\_95@mail.ru](mailto:ruziya_95@mail.ru)

***Аннотация.** В настоящей работе мы привели результаты исследования основных влияющих факторов на работу оптического прибора на примере фотоэлектронного умножителя работающего в сцинтилляционной сборке с кристаллом NaI(Tl), который в свою очередь является одним из основных инструментов в подводных радиологических исследованиях с применением метода in-situ Западных и Азиатских стран.*

**Introduction.** Currently, due to the expansion of industrial activity and the increase in the number of nuclear power plants near coastal areas, there is a growing demand for rapid radiological measurements in the marine environment. An in-situ approach is an economical and easy-to-use method. This method has reached a high level of analytical performance, mainly using underwater gamma spectrometry [1]. In addition radioactive monitoring, marine gamma-ray spectrometry has been used for a range of other applications. They are geological mapping, mineral exploration, obtaining a general picture of the distribution of radionuclide in bottom sediments and examination of cable routes to assess the radiation dose to optic fibre telephone cables [2]. Unfortunately, today the development and application of underwater gamma spectrometry in the study of shelf areas are not in the best condition in Russian science, unlike in Western and Asian countries science. This is confirmed by the almost complete absence of publications by Russian experts in this field. It should also be noted that most of the above studies were conducted in the waters of the seas of moderate, subtropical and tropical climates. Thus, this indicates the priority of shelf areas studies in the Arctic region. The aim of the project is to carry out a complex of radio-geochemical studies within the eastern-Arctic shelf of Russia, which are able to significantly complement classical geophysical and geological studies.

We are planning to conduct a continuous radiometric survey of the Arctic shelf's bottom sediments by the help of complex developed by our team. The radiometric survey is based on the registration of the natural radioactivity of bottom sediments using a scintillation counter. The systems most commonly used for  $\gamma$ -radiation spectroscopy in seawater, are based on NaI(Tl) detectors, which are characterized by high-detection efficiency and low cost [3]. Detector will be enclosed in a special sealed and vibration-resistant underwater container, with

a cargo system and a connecting cable. The complex will consist of three detection units to increase the efficiency of registration of rare events arising from the interaction of photons from radioactive substances dissolved in water. The word "efficiency" means a physical increase in the size of the detector – in the first approximation, the per-channel summation of the number of counts.

The advantages of a scintillator combined with a photomultiplier tube (PMT) are high recording efficiency, high time resolution ( $10^{-9} - 10^{-10}$ ), the ability to measure the energy of radiation particles and create counters of various geometric shapes and volumes. The main disadvantages are the voltage instability effects of the high-voltage power supply to PMT and large noise in the output signal [4]. We should pay attention to some characteristics of the PMT to find out why these disadvantages occur. Characteristics of the PMT are determined by the external conditions of its operation, the quantum yield of the photocathode, the secondary emission coefficient of dynodes ( $\sigma$ ) and their number, the spectral composition of the light and the voltage of the photomultiplier. The number of secondary electrons per primary electrons is indicated by the secondary emission coefficient  $\sigma$ . This coefficient strongly depends on the energy of the incident electron, i.e. on the potential difference between the dynodes. The gain  $K$  generated by a system of  $n$  dynodes with the same  $\sigma$  equals.  $K = \sigma^n$ . The dependence of  $\sigma$  on voltage leads to a very strong dependence of  $K$  on the voltage of the PMT power supply. This implies high demands on the stability of the supply voltage (usually not worse than 0.05%). The dark current gives noise pulse of different amplitude at the output of the PMT. It makes difficult to use the photomultiplier in measuring low-energy  $\gamma$ -radiation. The dark current is caused by the following reasons: thermoelectronic emission from the photocathode of the photomultiplier and its dynodes, leakage current, ionic and optical feedbacks, radioactivity and luminescence of constructive materials of the photomultiplier. When cascades work at 100 V, most of the dark current is caused by the thermionic emission from the photocathode and the first dynode, and this effect strongly depends on the temperature and voltage at the photomultiplier [5]. It follows from all above that the high voltage stabilization on the PMT is necessary. The objective of this work is to select the optimal power supply of the detector based on the need for an inexpensive power supply with high stabilization.

**Main part.** In this work we compared three power supplies assembled according to different schemes, hereinafter referred to as Scheme 1, Scheme 2 and Scheme 3.

Scheme 1. The voltage converter provides the output voltage of  $-1.5$  kV. When the load current varies from 0 to 200  $\mu$ A, output voltage change is not detectable by a four-digit digital voltmeter. Thus, the stability of the output voltage does not exceed 0.1%. The device is designed according to the traditional scheme using self-induction reverse voltage surge. This power supply is designed to work from unstable 12 V power source. The power supply has a negative lead connected to the common wire. The main advantage is its low cost. The cost of this power supply is 1240 rubles, and it includes costs of all components of the scheme and its housing. And if we consider the planned number of detection units, the saving becomes substantial.

Scheme 2. The power supply provides the maximum output voltage  $\sim 1$  kV. The voltage can be adjusted by the trimming potentiometer. The device is assembled on a microcircuit MC64053. Non-standard transformer was used to increase the voltage. A series of diode bridges is used to rectify the alternating voltage. In the primary and secondary winding, teflon wires are used for heat resistance, as well as to avoid inter-turn circuit. The power supply is designed to work from an unstable 12 V power source. The cost of the components of the scheme was less than a thousand rubles.

Scheme 3. THV 12-2000N. The power supply provides the output voltage of – 2 kV. The THV series are regulated miniature high voltage power modules. The power supply has a minimum temperature drift and a very stable output voltage due to the use of highly stable components. Typical applications for these high voltage power supplies are photomultiplier tubes, gas chromatography, analytical instruments and wherever where small size and high output voltage stability is requested. 8h after warm-up time the power supply stability is 0.05 %. Temperature coefficient is  $\pm 0.01$  %/K [6]. His main advantages are excellent output stability, low temperature coefficient, ultra low ripple and compact metal case. The power supply cost about 22000 rubles.

**Results.** As a result of testing Scheme 1, we discovered the instability of the output parameters. The instability is appearing when the ambient temperature changes. Scheme 2 was harder to assemble, but its output parameters are quite high stability. Scheme 3 has excellent stability and his output parameters don't change in the wide range of temperature, but its cost is extremely high.

**Conclusion.** The results of work: assembled power supplies according to Scheme 1 and Scheme 2; were compared three power supplies; selected the best option. Several commercial high voltage modules were also acquired. Unfortunately, at a cost of half the cost of the products assembled according to Schemes 1 and 2, the electrical characteristics of these high-voltage modules do not always correspond to the declared values. In the future, we plan to adjust the schemes in order to improve the output parameters and try to reduce its size.

**Acknowledgment.** Authors thank Kapranov B.I. for the provided power supply scheme (Scheme 2), and Aleinik A.N. for his all-round help.

## REFERENCES

1. Eleftheriou G., Tsabaris C., Androulakaki E.G., Patiris D.L., Kokkoris, Kalfas C.A., Vlastou R, Radioactivity measurements in the aquatic environment using in-situ and laboratory gamma-ray spectrometry[Electronic version]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969804313003588>. Applied Radiation and Isotopes. Volume 82, December 2013, pp. 268-278.
2. Jones D.G. Development and application of marine gamma-ray measurements: a review[Electronic version]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X00001399>. Journal of environmental radioactivity. Volume 53, Issue 3, April 2001, pp. 313-333.
3. Abdollahnejad H., Vosoughi N., Reza Zare M. Design and fabrication of an in situ gamma radioactivity measurement system for marine environment and its calibration with Monte Carlo method[Electronic version]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969804316301865>. Applied radiation and isotopes. Volume 114, August 2016, pp. 87-91.
4. Sidorenko V.V., Kuznetsov Yu.A., Ovodenko A.A.. Ionizing radiation detectors. – Publisher: Shipbuilding, L., 1984. – 240 p.
5. Chistyakov V.A., Sadykov E.K., Ivoilov N.G., Dulov E.N., Bikchantaev M.M. Workshop on nuclear physics. Kazan. 2004. –155 p.
6. Documentation for the THV Series from <https://assets.tracopower.com/20190405143723/THV/documents/thv-datasheet.pdf>



**СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ПРОПУСКАНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ  
СТРУКТУР GaN/InGaN, ВЫРАЩЕННЫХ НА САПФИРОВОЙ ПОДЛОЖКЕ**

К.Г. Аксенов, А.В. Михайленко, А.С. Егорова

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. С.М. Шандаров

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: [avmhno@gmail.com](mailto:avmhno@gmail.com)

**SPECTRAL DEPENDENCES OF OPTICAL TRANSMISSION AND REFLECTION IN GAN/INGAN  
STRUCTURES GROWN ON A SAPPHIRE SUBSTRATE**

K.G. Aksenov, A.V. Mihailenko, A.S. Egorova

Scientific Supervisor: Prof., Dr. S. M. Shandarov

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

E-mail: [avmhno@gmail.com](mailto:avmhno@gmail.com)

***Abstract.** Spectral dependences of optical transmission and reflection in GaN/InGaN structures grown on a sapphire substrate have been experimentally studied in the range 365–900 nm. We observed varieties in optical characteristics of samples cut from different parts of the wafer.*

**Введение.** Структуры GaN/InGaN обладают совокупностью физических свойств, делающих их перспективными для реализации различных функциональных элементов в фотонных интегральных схемах в рамках основанной на соединениях AlGaN/AlN платформы для видимого и УФ-диапазона [1]. Исследование оптических характеристик является важным методом контроля качества таких структур при послеростовой обработке. В работах [2, 3] изучались волноводные, нелинейно-оптические и оптические свойства эпитаксиальных пленок GaN/InGaN, выращенных на подложке из сапфира и используемых для создания синих светодиодов. Спектральные зависимости коэффициентов отражения [2] и пропускания [3] исследовались для таких структур на подложке с неполированной тыльной гранью, что ограничивало точность определения их оптических параметров. В данной работе представлены результаты экспериментального исследования спектральных зависимостей коэффициентов отражения и пропускания структур GaN/InGaN, выращенных на сапфировой подложке.

**Экспериментальная часть.** В работе исследовались структуры GaN/InGaN, изготовленные РФЯЦ–ВНИИТФ и предназначенные для производства светодиодов с длиной волны ~465 нм. По сведениям [4], такие светодиодные структуры выращиваются MOCVD-методом на сапфировой подложке, при толщине буферного слоя GaN 0,5 мкм. Активная область структуры обычно состоит из пяти квантовых ям InGaN (3 нм), разделенных барьерами GaN с толщиной 14 нм, а активная область выращивается на *n*-GaN:Si-слое (2 мкм) и сверху покрывается *p*-GaN:Mg слоем (0,2 мкм).

В исходном виде тыльная сторона сапфировой подложки, толщина которой составляла 450 мкм, не имела оптической полировки. В связи с этим, для исследования оптических характеристик структур GaN/InGaN двухдюймовая пластина, полученная от производителя, подвергалась оптической полировке с тыльной стороны, а затем разрезалась алмазной пилой на образцы прямоугольной формы. В

экспериментах использовались три образца с размерами  $8 \times 16 \text{ мм}^2$ , при этом образец № 2 был вырезан из средней части пластины.

Спектральные зависимости коэффициентов пропускания  $T(\lambda)$  и отражения  $R(\lambda)$  измерялись на спектрофотометре Shimadzu UV-2700 в диапазоне длин волн 365–900 нм. Коэффициент отражения фиксировался как со стороны плёночной структуры, так и со стороны подложки, при этом световой пучок в спектрофотометре был ограничен апертурной диафрагмой с диаметром 5 мм. Коэффициент пропускания регистрировался без принятия мер по ограничению апертуры используемого в нем светового пучка.

**Результаты.** Экспериментальные спектральные зависимости коэффициента отражения образцов для ширины щели спектрофотометра  $\Delta\lambda = 1 \text{ нм}$  представлены на рисунке 1.

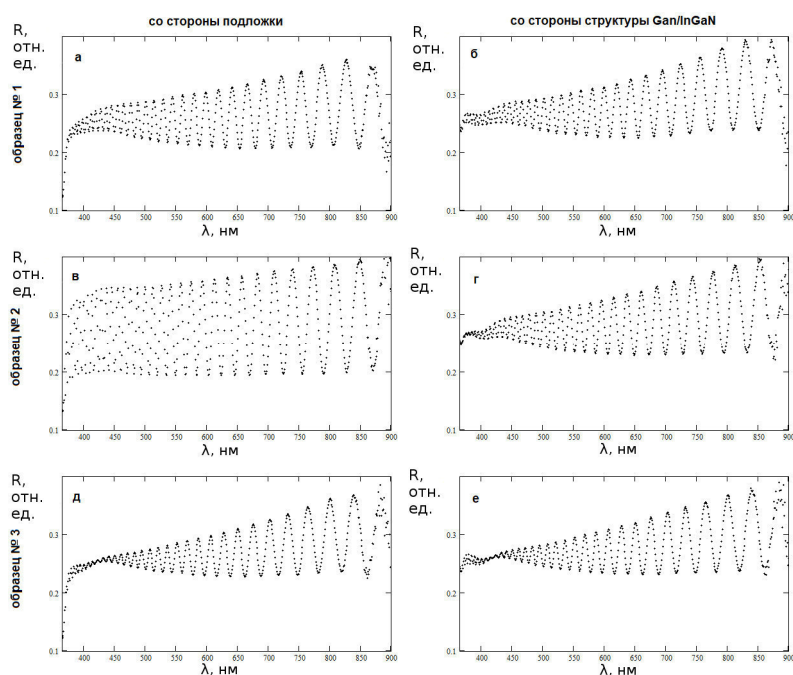


Рис. 1. Спектральные зависимости оптического отражения для структуры GaN/InGaN, выращенной на сапфировой подложке

Как видно из рисунка, в спектральном диапазоне от 400 до 900 средние значения коэффициента отражения  $R(\lambda)$  возрастают с длиной волны и составляют в максимуме около 0,3. Колебания  $R(\lambda)$ , вызванные интерференционными явлениями в пленке GaN/InGaN, достигают значения  $\Delta R_{max} = 0,19$ . Следует отметить различия между значениями коэффициентов отражения для образцов, вырезанных из средней части пластины (рис. 1, в), и из её краевых частей (рис. 1, а, д), а также отличия в экспериментальных значениях коэффициента отражения при его измерениях со стороны подложки (рис. 1, а, в и д), и со стороны структуры GaN/InGaN (рис. 1, б, г и е).

Экспериментальные зависимости коэффициента пропускания образцов, измеренные при ширине щели спектрофотометра  $\Delta\lambda = 1 \text{ нм}$ , представлены на рисунке 2.

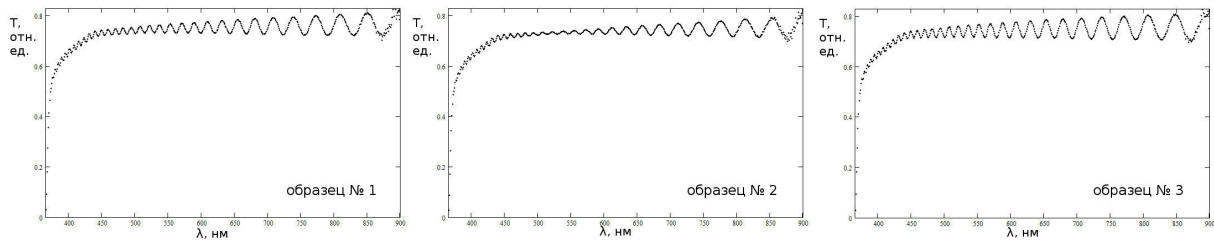


Рис. 2. Спектральные зависимости оптического пропускания для структуры GaN/InGaN, выращенной на сапфировой подложке

Из него следует, что средние значения коэффициента пропускания  $T(\lambda)$  испытывают наиболее значительные изменения, связанные, в первую очередь, с поглощением в пленке, в диапазоне от 365 до 450 нм. Колебания  $T(\lambda)$ , вызванные интерференционными явлениями в пленке GaN/InGaN, достигают значения  $\Delta T_{max} = 0,09$ . Коэффициенты пропускания образцов, вырезанных из краевых частей пластины (№ 1 и № 3), несколько отличаются от наблюдаемых в образце № 2.

**Заключение.** Таким образом, наблюдаются различия оптических характеристик исследованных образцов, вырезанных из различных частей исходной пластины, что может быть связано с неоднородностью структуры GaN/InGaN, возникающей при её эпитаксиальном росте на сапфировой подложке.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Госзадания на 2017-2019 годы (проекты № 3.1110.2017/4.6 и № 3.8898.2017/8.9) и РФФИ (грант 16-29-14046-офи\_м).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Soltani M., Soref R., Palacios T., and Englund D. (2016). AlGaN/AlN integrated photonics platform for the ultraviolet and visible spectral range. *Optics Express*, vol. 24, no. 22, pp. 71–77.
2. Кистенева, М.Г. Оптические и волноводные свойства эпитаксиальных структур GaN/InGaN, выращенных на сапфировой подложке [Текст] / М.Г. Кистенева, А.С. Акрестина, Е.С. Худякова, В.В. Щербина, М.В. Бородин, В.М. Шандаров, С.М. Шандаров, В.М. Лисицын, С.А. Степанов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58., № 8/3. – С. 276–277.
3. Марцева А.В. Спектральные зависимости оптического пропускания эпитаксиальных структур GaN/InGaN, выращенных на сапфировой подложке [Текст] / А.В. Марцева, Е.Е. Абдирали, М.Г. Кистенева, Е.С. Худякова, С.М. Шандаров, А.А. Колегов // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XII Международной научно-практической конференции (16–18 ноября 2016 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2016. – С. 133–135.
4. Шукайло, В.П. Исследование спектров электролюминисценции светодиодов на основе GaN-структур при нейтронном облучении [Текст] / В.П. Шукайло, С.В. Оболенский, Н.В. Басаргина и др. // Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. – 2012. – № 6 (1). – С. 51–55.

**ПОТЕНЦИАЛ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МИШЕНИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫМ  
ПУЧКОМ В ФОРВАКУУМЕ**

П.В. Алексеевский, 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: [alekseevcki@gmail.com](mailto:alekseevcki@gmail.com)

**POTENTIAL OF THE DIELECTRIC TARGET AT RADIATION BY THE ELECTRON BEAM IN  
THE FOREVACUUM**

P.V. Alekseevskiy, 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: [alekseevcki@gmail.com](mailto:alekseevcki@gmail.com)

***Abstract.** In the present study, we performed indirect measurement technique of potential of a target. This measurement gives us opportunity to count the potential of a dielectric target. The potential of a surface of a dielectric target measured thus can serve for assessment of a secondary electron emission coefficient of material of a target.*

**Введение.** Один из перспективных способов модификации поверхностей различных материалов состоит в их облучении электронным пучком [1]. В случае диэлектрических материалов возникает возможность накопления заряда [2], сопровождающегося изменением потенциала поверхности, что может приводить к изменению энергии электронов, достигающих обрабатываемой поверхности. В связи с этим контроль потенциала диэлектрической поверхности, обрабатываемой электронным пучком, представляется актуальной задачей. Поскольку непосредственное измерение потенциала диэлектрика невозможно, в настоящей работе рассматривается один из вариантов косвенного измерения.

**Экспериментальная часть.** На верхнем фланце вакуумной камеры 1 (Рис. 1), откачиваемой механическим форвакуумным насосом, размещался источник электронов с плазменным катодом 2, представляющий собой трехэлектродную систему [3]. Электрическое питание разрядного и ускоряющего промежутков осуществлялось выпрямителями  $U_d$  и  $U_a$  соответственно. Сформированный магнитной линзой 3 электронный пучок 4 направлялся на мишень 5, в качестве которой использовались титановая и кварцевая пластинки. Обе мишени размещены на вращающемся держателе 6. Для измерения параметров пучковой плазмы служил зонд 7, снабженный экраном, исключающим попадание пучка на зонд. Рабочее давление в камере составляло 2 Па и обеспечивалось напуском аргона. Ток пучка составлял 3 мА, напряжение  $U_a$  изменялось в процессе экспериментов. Потенциал  $\phi$  титановой мишени и ток в ее цепи измерялись соответствующими приборами. Вблизи изолированной металлической, а также диэлектрической мишеней наблюдался слой [4], протяженность  $d$  которого измерялась путем визуального наблюдения через прозрачную линейку.

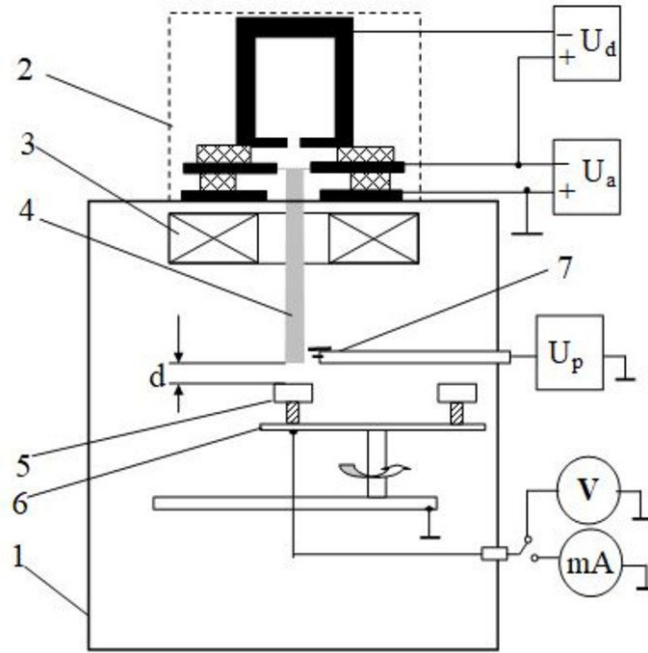


Рис. 1. Схематическое изображение экспериментальной установки

**Результаты.** При облучении титановой мишени одновременно измерялись  $\phi$ ,  $d$  и концентрация  $n$  плазмы. Использование последних двух величин позволяло рассчитывать  $\phi$  и сравнивать его с измеренным значением. Расчет производился в предположении плоского слоя, содержащего положительные ионы. В этом случае уравнивание плотности ионного тока с границы плазмы с аналогичной величиной в законе трех вторых [5] приводит к выражению

$$\phi = \left( \frac{n}{\epsilon_0} \right)^{2/3} d^{4/3} (ekT_e)^{1/3}, \quad (1)$$

где  $T_e$  – электронная температура, определяемая по зондовой характеристике,  $\epsilon_0$ ,  $e$ ,  $k$  – электрическая постоянная, заряд электрона и постоянная Больцмана.

На рис. 2а представлены измеренные значения  $\phi$  и  $d$  для титановой мишени в зависимости от ускоряющего напряжения, а также значения  $\phi$ , рассчитанные согласно (1). Удовлетворительное совпадение измеренных и рассчитанных значений  $\phi$  свидетельствует о применимости методики косвенного измерения потенциала. Эта методика была применена для измерения потенциала поверхности кварцевой мишени. Соответствующие результаты представлены на рис. 2б. При одинаковых параметрах пучка потенциал поверхности кварцевой мишени заметно ниже аналогичного потенциала мишени титановой, что, по-видимому, имеет причиной большую величину коэффициента вторичной электронной эмиссии кварца по сравнению с титаном. Измеренный таким образом потенциал поверхности диэлектрической мишени может служить для оценки коэффициента вторичной электронной эмиссии материала мишени.



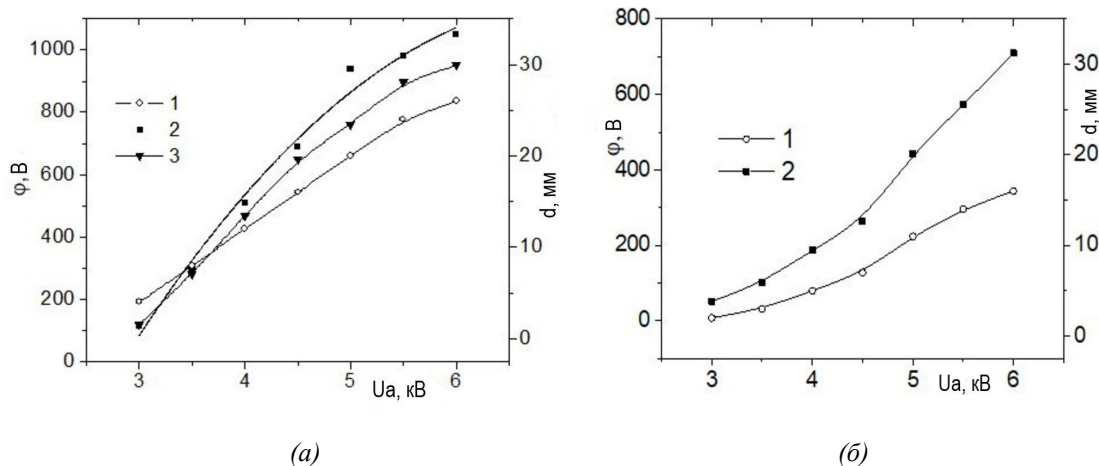


Рис. 2. Толщина  $d$  слоя (1), расчетный (2) и измеренный (3) потенциалы  $\phi$  титановой (а) и кварцевой (б) мишеней

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, грант № 19-08-00170.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков А.В., Климов А.С., Смаилов А.С., Медовник А.В., Юшков Ю.Г., Бакеев И.Ю. Модификация поверхности полимерных материалов импульсным электронным пучком // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 4 (30). – С. 75–78.
2. Burdovitsin V.A., Oks E.M., Zolotukhin D.B. Effect of collector potential on beam-plasma formed by a forevacuum-pressure plasma-cathode electron beam source // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2018. – Vol. 51. – P. 304006 (5pp).
3. Жирков И.С., Бурдовицин В.А., Окс Е.М., Осипов И.В. Особенности формирования узкофокусированных электронных пучков, генерируемых источником с плазменным катодом в форвакуумном диапазоне давлений // Журнал технической физики. – 2006. – Т. 76, № 6. – С. 106–110.
4. Крейндель Ю.Е. Плазменные источники электронов. – М.: Атомиздат, 1977. – 145 с.
5. Zolotukhin D.B., Burdovitsin V.A., Oks E.M. On the role of secondary electrons in beam plasma generation inside a dielectric flask by fore-vacuum plasma-cathode electron source // Physics of Plasmas. – 2017. – Vol. 24. – P. 093502.

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ ЧАСТОТЫ ОСНОВНОГО ТОНА  
РЕЧЕВОГО СИГНАЛА**

Ю.В. Андреева

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: [andreeva.julia9683@gmail.com](mailto:andreeva.julia9683@gmail.com)

**ASSESSMENT OF ACCURACY OF A PITCH FREQUENCY DETERMINATION**

Yu.V. Andreeva

Scientific Supervisor: Assistant prof., Ph.D. A.A. Konev

Tomsk State University of control systems and radio electronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: [andreeva.julia9683@gmail.com](mailto:andreeva.julia9683@gmail.com)

***Abstract.** This work is devoted to the studying and the assessment of the pitch frequency determination algorithm, used for simultaneous masking of vocal performances. The results obtained will allow to improve the algorithm by expansion of range of the determined frequencies.*

**Введение.** Спектр применения речевых технологий в современном мире становится всё шире. Вместе с тем растёт потребность в качестве распознавания слитной речи и голосовой идентификации [1]. К примеру, в медицине при диагностике заболеваний речеобразующего тракта и реабилитации пациентов после полной или частичной резекции гортани [2]. Помимо этого, с помощью обработки речевого сигнала возможна диагностика психофизиологического состояния человека [3]. Для выделения ключевых слов в слитной речи необходимо качественное определение параметров речевого сигнала. В рамках данной задачи был разработан рассматриваемый в работе алгоритм, позволяющий определить один из ключевых параметров – частоту основного тона (ЧОТ).

**Экспериментальная часть.** В рассматриваемом алгоритме в модуле формирования шаблонов используется эффект одновременной маскировки, заключающийся в следующем. Каждой точке вдоль основной мембраны внутреннего уха, которая преобразует механические колебания в нервные импульсы, ставится в соответствие частота звука, вызывающая максимальный отклик в данной точке. Чем больше расстояние от этой точки, тем ниже амплитуда отклика. И если амплитуда отклика на компоненту с собственной частотой будет ниже, чем на другие, то данная компонента не будет восприниматься слуховой системой. Основная мембрана здесь рассматривается как набор частотных резонансных фильтров [4].

Ранее были получены результаты для диапазона частот от 70 до 400 Гц [5]. Но, как было показано в [6], при пении ЧОТ может достигать 1400 Гц. С целью повышения верхней границы определения частоты основного тона был разработан рассматриваемый в данной работе алгоритм, подробно описанный в [7]. Но изучение корректности работы алгоритма не проводилось.

Для оценки точности работы алгоритма были сгенерированы синусоидальные сигналы с известной ЧОТ в диапазоне от 70 до 700 Гц. На рисунке 1 показан результат работы алгоритма для

синусоидального сигнала с частотой основного тона 200 Гц. Графики для сигналов с частотами до 600 Гц включительно выглядят аналогичным образом.

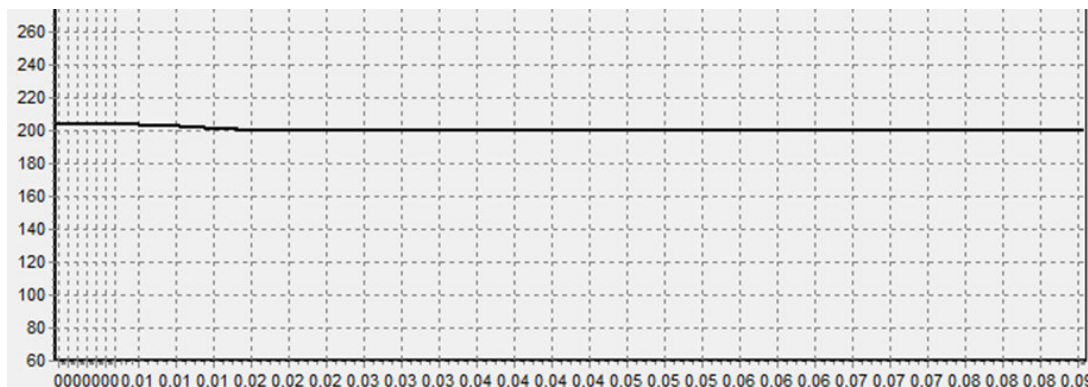


Рис. 1. График определения ЧОТ синусоидального сигнала (200 Гц)

**Результаты.** Результаты работы алгоритма для синусоидальных сигналов с разными частотами были проанализированы на предмет ошибок. В таблице 1 представлены значения относительных погрешностей определения частоты основного тона. Видно, что относительная погрешность возрастает с увеличением ЧОТ сигнала. Одной из причин является то, что по мере увеличения частот увеличивается ширина критической полосы фильтра [8]. Так как ширина критической полосы характеризует диапазон воспринимаемых фильтром частот, точность работы фильтра с повышением частоты снижается.

Что касается сигналов с частотами 650 и 700 Гц, погрешности для них рассчитаны исходя из определенного номера канала, так как частота на каждом временном отсчете определяется как разная (рис.2). Номер канала для 650 Гц приблизительно соответствует номеру канала для сигнала 325 Гц, а номер канала для 700 Гц приблизительно соответствует номеру канала для сигнала 363 Гц.

Стоит добавить, что анализу подлежат лишь вокализованные участки [2]. Отсюда следует то, что наличие «пунктира» на графиках объясняется тем, что алгоритм определяет некоторые участки сигнала как невокализованные.

Таблица 1

Относительная ошибка определения частоты основного тона

Частота основного тона синусоидального сигнала, Гц	Относительная погрешность, %	Частота основного тона синусоидального сигнала, Гц	Относительная погрешность, %
70	0	400	0,5
90	0	450	0,44
120	0	500	0,6
150	0	550	0,73
200	0	600	0,83
250	0,4	650	50
300	0,33	700	48,14
350	0,29		

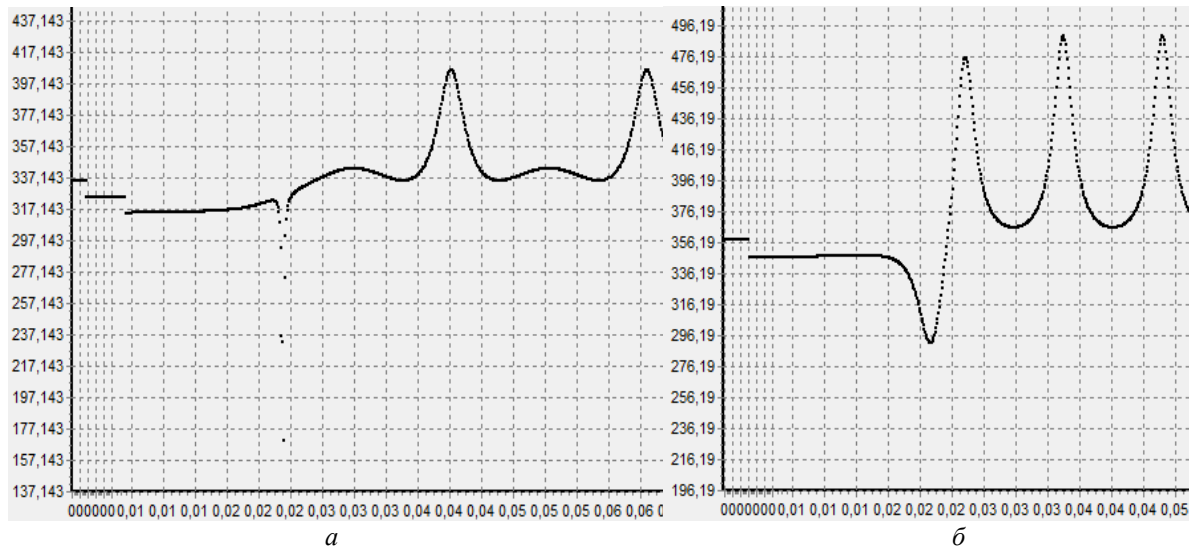


Рис. 2. Графики определения частоты основного тона синусоидального сигнала 650 Гц (а) и 700 Гц (б)

**Заключение.** В результате проведенных исследований алгоритм показал некорректную работу для сигналов с частотами от 650 Гц включительно и требует корректировки. Величина погрешностей стремится к 50%, что, очевидно, недопустимо.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.П., Конев А.А., Мещеряков Р.В. Обработка речевых сигналов в задачах идентификации // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2006. – Т. 49, № 9. – С. 207–210.
2. Конев А.А. Модель и алгоритмы анализа и сегментации речевого сигнала: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2007. – 20 с.
3. Мещеряков Р.В., Конев А.А. К вопросу об исследовании биологических параметров человека в защищенных системах // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 1(21). – С. 131–133.
4. Бондаренко В. П., Мещеряков Р. В., Коцубинский В. П. Выделение особенностей структуры речевого сигнала // Сборник трудов XIII сессии Российского акустического общества. Т. III – М.: ГЕОС, 2003. – С. 63-66.
5. Конев А.А., Мещеряков Р.В., Костюченко Е.Ю. Сегментация речевых сигналов на вокализованные и невокализованные участки на основе одновременной маскировки // Автометрия. – 2018. – № 4(54). – С 51-57.
6. Якимук А.Ю., Егошин Н.С., Осипов А.О., Боков И.М. Повышение качества идентификации нот в автоматизированной системе распознавания вокала // Электронные средства и системы управления. – 2016. – № 1-2. – С. 29-32.
7. Якимук А.Ю. Генерация фильтров для одновременной маскировки // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIV Международной научно-практической конференции. – Томск, 2018. – Т. 2. – С. 29–31.
8. Римский-Корсаков А.В. Электроакустика / А.В. Римский-Корсаков. – М., «Связь», 1973. – 272 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАЗМЫ В ЭМИССИОННОМ КАНАЛЕ  
ФОРВАКУУМНОГО ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ**

А.П. Андрейчик, М.А. Бармин, К.А. Василькевич

Научный руководитель: мл. науч. сотрудник И.Ю. Бакеев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: bakeeviyu@mail.ru

**MODELING OF PLASMA DISTRIBUTION IN THE EMISSION CHANNEL OF FORVACUUM  
PLASMA ELECTRON SOURCE**

A.P. Andreychik, M.A. Barmin, K.A. Vasilkevich

Scientific Supervisor: junior research assistant I.Yu. Bakeev

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

E-mail: bakeeviyu@mail.ru

***Abstract.** The developed model of plasma propagation in a single emission channel of a forevacuum source is presented. This model allows calculating changes in plasma concentration and potential as it goes deeper into the emission channel. Based on the calculated parameters, the steady state of the plasma boundary is determined, from which electrons are extracted and emission parameters, such as the current and emission current density, are determined. The results of the analysis of the model results and their comparison with the experiment are presented.*

**Введение.** Одно из перспективных применений электронных пучков заключается в прецизионной резке, сварке и пайке функциональных материалов [1]. В случае металлов в настоящее время для прецизионной обработки применяются электронные пучки, генерируемые источниками как с твердотельным [2], так и с плазменным катодом [3]. При этом преимущество плазменных катодов в первую очередь заключается в нечувствительности источников к условиям газовой среды и в достижении высоких эмиссионных характеристик электронного пучка. Так, плазменные источники на основе отражательного разряда с полым катодом способны генерировать пучки диаметром вплоть до сотни микрометров и плотностью мощности порядка  $10^7$  Вт/см<sup>2</sup> [4]. Форвакуумные источники электронов, благодаря уникальным особенностям, способны производить эффективную электронно-лучевую обработку в том числе и диэлектриков [5]. Последние исследования особенностей генерации сфокусированных электронных пучков форвакуумными источниками представлены в [6]. В частности, в работе [6] показано, что удельные параметры электронного пучка напрямую связаны с размерами одиночного эмиссионного канала. Так как размеры эмиссионного канала определяют поведение плазмы внутри канала, цель данной работы заключалась в теоретическом исследовании процесса распространения плазмы по мере ее распространения в эмиссионном канале и определении взаимосвязи между размерами канала и эмиссионными параметрами плазмы.

**Описание модели.** Составленная одномерная модель, описывающая распространение плазмы в эмиссионном канале, основана на работе [7]. Ось  $z$  располагается по оси эмиссионного канала,



координата отсчитывается от входа канал со стороны разрядного промежутка. В начале координат задаются начальные параметры плазмы: концентрация  $n(0)$ , потенциал  $U(0)$  и температура электронов в плазме  $T_e$ . Плазма считается квазинейтральной и однородной в радиальном направлении. Ионизация и рекомбинация в канале не учитываются. Плазма отделена от стенок канала слоем пространственного заряда, который считается бесстолкновительным. С учетом того, что электроны имеют максвелловское распределение по скоростям, расчет процесса распространения плазмы в канале осуществлялся численными методами на основе уравнений непрерывности для электронов и ионов, и уравнения Пуассона для слоя пространственного заряда при наличии в нем ионов и электронов, которые представлены в [7].

Установившееся положение открытой плазменной границы в канале, т.е. расстояние  $L_{pe}$  между границей плазмы и экстрактором, определяется при помощи закона «степени 3/2», принимая за ток хаотический ток электронов из плазмы:

$$L_{pe} = L_{ae} + H_{em} - z = \frac{\epsilon_0^{1/2} \cdot (U_a - U(z))^{3/4}}{n(z)^{1/2} \cdot (e \cdot k \cdot T_e)^{1/4}}, \quad (1)$$

где  $L_{ae}$  – протяженность ускоряющего промежутка;  $H_{em}$  – протяженность эмиссионного канала;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная;  $U_a$  – ускоряющее напряжение;  $e$  – заряд электрона;  $k$  – постоянная Больцмана. Плотность эмиссионного тока  $j_{em}$  при этом рассчитывается по формуле:

$$j_{em} = \frac{e \cdot n(z)}{4} \sqrt{\frac{8 \cdot k \cdot T_e}{\pi \cdot m_e}} \frac{R^2(z)}{R_{em}^2}, \quad (2)$$

где  $R_{em} = 2D_{em}$  – радиус эмиссионного канала.

**Результаты моделирования.** На рис. 1 представлены полученные на основе модели размеры эмиссионного канала, обеспечивающие максимальную плотность тока пучка. Расчеты производились при следующих параметрах: концентрация плазмы  $n(0) = 3,7 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$ ; потенциал плазмы  $U(0) = 5 \text{ В}$ ; температура электронов  $T_e = 1 \text{ эВ}$ ; ускоряющее напряжение  $U_a = 20 \text{ кВ}$ .

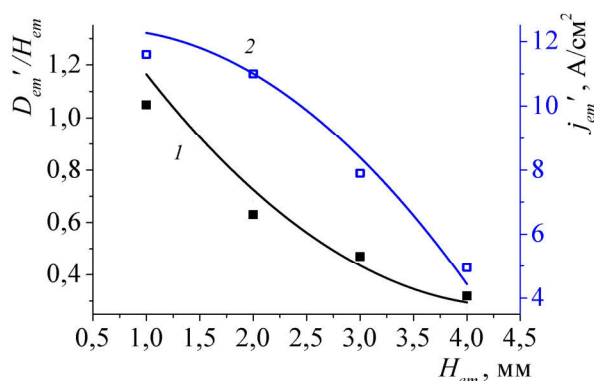


Рис. 1. Зависимости отношения диаметра эмиссионного канала к протяженности  $D_{em}'/H_{em}$  и плотности эмиссионного тока  $j_{em}'$ , при которых обеспечивается максимальная плотность тока пучка в кроссовере, от протяженности эмиссионного канала  $H_{em}$ : 1 -  $D_{em}'/H_{em}$ ; 2 -  $j_{em}'$ . Точками показаны экспериментальные данные, кривыми – данные расчетов

При этом считается, что максимальная плотность тока пучка в кроссовере обеспечивается при условии нахождения плазменной границы на нижнем торце эмиссионного канала, так как дальнейшее ее

продвижение приведет к образованию границы выпуклой формы и расхождению электронного пучка. Для этого при заданной протяженности эмиссионного канала  $H_{em}$  при помощи модели находилось такое соотношение  $D'_{em}/H_{em}$ , при котором  $L_{pe} = L_{ae}$ . Экспериментальные значения размеров канала и плотности тока эмиссии, при которых обеспечивается максимальная плотность тока, были взяты из [6]. Качественное совпадение результатов расчета с экспериментальными данными свидетельствует в пользу достоверности модели.

**Заключение.** Разработана модель описывающая изменение концентрации и потенциала плазмы по мере распространения в эмиссионном канале форвакуумного источника и позволяющая рассчитать установившееся положение плазменной границы и эмиссионные параметры. При помощи данной модели проанализированы оптимальные размеры эмиссионного канала, обеспечивающие максимальную плотность тока пучка и произведено их сравнение с экспериментальными результатами. Дальнейшее развитие модели потребует учет особенностей форвакуумных источников, заключающихся в наличии обратного ионного потока и приводящих повышению как концентрации, так и потенциала плазмы вблизи эмиссионного канала.

Работа поддержана грантом РФФИ № 18-38-00305.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронно-лучевая обработка материалов / В.Н. Алехнович, А.В. Алифанов, А.И. Гордиенко, И.Л. Поболь. – Минск: Белорусская наука, 2006. – 319 с.
2. Оборудование для электронно-лучевой сварки / А.И. Чвертко, О.К. Назаренко, А.М. Святский, А.И. Некрасов. Под ред. С.М. Гуревича. – Киев: Наукова Думка, 1973. – 408 с.
3. Крейнделъ Ю.Е. Плазменные источники электронов / Ю.Е. Крейнделъ. – М: Атомиздат, 1977. – 144 с.
4. Корнилов С.Ю. Формирование и фокусировка электронных пучков в электронно-оптической системе с плазменным эмиттером в магнитном поле / С.Ю. Корнилов, Н.Г. Ремпе // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82, № 2. – С. 79–84.
5. Форвакуумные плазменные источники электронов / В.А. Бурдовицин, А.С. Климов, А.В. Медовник, Е.М. Окс, Ю.Г. Юшков. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2014. – 288 с.
6. Bakeev I. Generation of high power density electron beams by a forevacuum-pressure plasma-cathode electron source / I. Bakeev, A. Klimov, E. Oks, A. Zenin // Plasma Sources Science and Technology. – 2018. – Vol. 27, Iss. 7. – P. 075002.
7. Danilishin D.G. Plasma expansion in the anode emission channel of an electron source / D.G. Danilishin, V.A. Burdovitsin, Y.A. Burachevskii, E.M.Oks // Russian physics journal. – 2001. – Vol 44, No. 5. – P. 478–481.

**АНСАМБЛИ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ  
ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПО РУКОПИСНОЙ ПОДПИСИ**

С. Н. Аримпилов

Научный руководитель: доцент каф. КИБЭВС, к.т.н. К. С. Сарин  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
Россия, г. Томск, пр. Ленина 40, 634045  
E-mail: [arimpilovs@icloud.com](mailto:arimpilovs@icloud.com)

**ENSEMBLES OF FUZZY CLASSIFIERS FOR HANDWRITTEN SIGNATURE AUTHENTICATION**

S. N. Arimpilov

Scientific supervisor: K. S. Sarin  
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050  
E-mail: [arimpilovs@icloud.com](mailto:arimpilovs@icloud.com)

***Abstract.** In this paper, we study the effect of the number of fuzzy classifiers in the ensemble on the quality of dynamic handwritten signatures authentication.*

**Введение.** Проблеме аутентификации пользователя по рукописной подписи посвящено множество научных публикаций, регулярно проводятся конференции по данной теме, так в 2018 году прошла очередная 16th International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition. Существует два вида распознавания подписи: динамическое и статическое. Динамическое распознавание основано на характеристиках подписи, получаемых в различное время ее нанесения. Статическое же распознавание использует подпись как единое графическое изображение, без привязки ко времени нанесения отдельных ее фрагментов. В настоящей работе проводится исследование влияния числа нечетких классификаторов в ансамбле на качество динамического распознавания рукописной подписи.

**Признаковое пространство подписи.** Сигналы подписи — это дискретные значения координат  $X$  и  $Y$ , снятые через равные промежутки времени  $\Delta t$ . Используя дискретное преобразование Фурье на основе  $N$  отчетов времени, функции изменения координат  $x(t)$  и  $y(t)$  от времени определяются выражениями:

$$x(t) = \frac{a_0^x}{2} + \sum_{n=1}^{N/2} (a_n^x \cos nt + b_n^x \sin nt),$$
$$y(t) = \frac{a_0^y}{2} + \sum_{n=1}^{N/2} (a_n^y \cos nt + b_n^y \sin nt),$$

где  $a_n^x$  и  $b_n^x$  коэффициенты  $n$ -й гармоники функции  $x(t)$ ,  $a_n^y$  и  $b_n^y$  коэффициенты  $n$ -й гармоники функции  $y(t)$ . Амплитуда каждой гармоники соответствует ее максимальному значению и определяется выражением

$$A_n^x = \sqrt{(a_n^x)^2 + (b_n^x)^2}, A_n^y = \sqrt{(a_n^y)^2 + (b_n^y)^2}$$

где  $n = 1, 2, \dots, N/2$ .

Частота  $n$ -й гармоники в герцах вычисляется следующим образом

$$\omega_n = \frac{n}{N \cdot \Delta t}.$$

Величина фазы для  $n$ -й гармоники:

$$\varphi_n = \operatorname{arctg} \frac{b_n}{a_n}.$$

Из сигналов координат подписи можно получить сигналы скорости ведения пера. Формула для вычисления сигналов скорости:

$$v_i = \frac{\sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}}{\Delta t},$$

где  $i=1, 2, \dots, N-1$ ,  $x_i$  и  $y_i$  значения координат  $X$  и  $Y$  в отсчет времени  $i$ .

В качестве признакового пространства каждой подписи используются амплитуды, частоты и фазы первых шести гармоник с наибольшими амплитудами для сигналов координат  $X$ ,  $Y$  а также сигналов скорости ведения пера.

**Ансамбли нечетких классификаторов.** Для распознавания рукописной подписи использовался нечеткий классификатор [1,2]. Основой нечеткого классификатора является базы нечетких правил вида.

$$R_i: \text{IF } x_1 = A_{i,1} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n = A_{i,n} \text{ THEN } y = L_i,$$

Классификация нового входного вектора  $x$  проводится с помощью нахождения метки класса с наибольшей суммой влияний правил, имеющих соответствующую классу выходную метку:

$$y = L_{i^*}, \text{ где } i^* = \arg \max_{i=1, \dots, r} \prod_{j=1}^n \mu_{ij}(x_j),$$

$\mu_{ij}$  – функция принадлежности нечетких множеств  $i$ -го правила  $j$ -й переменной, определяющая нечеткий терм  $A_{ij}$ , в работе используются функции гауссового типа:

$$\mu_{ij}(x_j) = e^{-((x_j - s_{ij})/\sigma_{ij})^2},$$

где  $s_{ij}$  – центр и  $\sigma_{ij}$  – отклонение.

Одним из способов, позволяющих повысить точность классификации, является построение ансамблей классификаторов. В ансамблях повышение точности достигается за счет использования определенной архитектуры в построении композиции классификаторов, а также специфики их построения [3-5]. В данной работе для построения ансамбля использовался метод баггинга. Согласно данному методу, все элементы ансамбля строятся независимо друг от друга. Вывод ансамбля формируется голосованием, т.е. класс объекта определяется большинством голосов.

**Экспериментальная часть.** Построение нечетких классификаторов и их ансамблей для распознавания рукописной подписи осуществлялось на наборе данных SVC 2004 ([www.cse.ust.hk/svc2004/](http://www.cse.ust.hk/svc2004/)). Всего в наборе 40 различных подписей. Каждая подпись содержит 40 вариантов нанесения – 20 подлинных и 20 квалифицированных подделок. Оценка точности классификации проводилась по схеме двукратной кроссвалидации. Согласно этой схеме, набор данных разбивался на две равные части. Сначала ансамбли строились на первой части этих данных, а точность проверялась на второй, а затем наоборот. Построение классификатора осуществлялось 30 раз, итоговая оценка его работы определялась усредненным значением. Строились одиночный классификатор, а также ансамбли из 3, 5, 7 и 9 элементов.

**Результаты.** Для оценки статистической значимости различий в точности классификаторов использованы доверительные интервалы для разности средних. 95% доверительные интервалы для разности средних значений точности, ошибок первого и второго рода приведены в таблице 1. В первом столбце таблицы показаны пары сравниваемых классификаторов, *FC1-FC3* означает, что одиночный классификатор сравнивается с ансамблем из трех элементов. Во втором столбце указаны минимальное и максимальное значение 95-и процентного доверительного интервала и уровень значимости.

Таблица 1

Парное сравнение классификаторов

Классификаторы	точность			ошибка 1-го рода			ошибка 2-го рода		
	95% дов. интервал		p	95% дов. интервал		p	95% дов. интервал		p
	Min	Max		Min	Max		Min	Max	
FC1–FC3	3,622	0,204	0,079	0,321	5,695	0,029	2,146	2,973	0,746
FC1–FC5	5,468	1,819	0,000	1,508	6,716	0,003	0,821	5,530	0,010
FC1–FC7	5,914	2,182	0,000	1,506	6,518	0,002	1,781	6,387	0,001
FC1–FC9	6,071	2,266	0,000	1,437	6,270	0,003	2,094	6,874	0,001
FC3–FC5	2,603	1,267	0,000	0,003	2,211	0,051	2,050	3,474	0,000
FC3–FC7	3,416	1,262	0,000	0,666	2,675	0,231	2,531	4,811	0,000
FC3–FC9	3,594	1,325	0,000	0,766	2,457	0,295	2,771	5,370	0,000
FC5–FC7	1,044	0,235	0,209	0,995	0,796	0,823	0,092	1,725	0,030
FC5–FC9	1,218	0,168	0,133	1,160	0,644	0,566	0,436	2,181	0,004
FC7–FC9	0,521	0,280	0,546	0,716	0,399	0,568	0,132	0,932	0,136

**Заключение.** Исследования показали, что применение ансамблей нечетких классификаторов с независимо построенными элементами является оправданным для распознавания рукописной подписи субъекта. Уровень значимости при статистическом сравнении разности средних оказался ниже 0.05, а доверительные интервалы не содержат 0. Таким образом, точность оказалась значимо выше, а ошибки первого и второго рода значимо ниже.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-47-700005.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сарин К.С., Ходашинский И.А. Метод Чиу для отбора информативных признаков нечеткого классификатора // Информатика и системы управления. – 2017. – № 3 (53). – С. 84-95.
2. Sarin K.S., Hodashinsky I.A. Identification of fuzzy classifiers based on the mountain clustering and cuckoo search algorithms // 2017 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2017. – 2017. – P. 6
3. Rokach, L. Ensemble-based classifiers // Artificial Intelligence Review. – 2010. –Vol. 33(1-2). – P. 1-39.
4. Breiman, L. Bagging predictors. // Mach Learn. –1996. –P.123–140
5. Bauer, E., Kohavi, R. An empirical comparison of voting classification algorithms: bagging, boosting, and variants. // Mach Learn. –1999. – P. 1–38.



**ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ РУКОПИСНЫХ ПОДПИСЕЙ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ**М.Б. Бардамова

Научный руководитель: профессор, д.т.н. И.А. Ходашинский  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050  
E-mail: bmb@keva.tusur.ru

**CONSTRUCTING FUZZY CLASSIFIERS FOR HANDWRITTEN SIGNATURES USING  
METAHEURISTIC ALGORITHMS**M.B. Bardamova

Scientific Supervisor: Prof., Dr. I.A. Hodashinsky  
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050  
E-mail: bmb@keva.tusur.ru

***Abstract.** Biometric identifiers are the most convenient ways of authentication. Biometrics is divided into two groups: physiological (fingerprint, palm vein pattern, retina, etc.) and behavioral (handwriting or keyboard writing, gait, etc.) metrics. Using dynamic behavioral identifiers is safer method due to the fact that signs that change over time are difficult to imitate. One of the dynamic authentication tools is a handwritten signature. In this article, we describe constructing a fuzzy classifier to verify handwritten signatures. The gravitational search algorithm is used to select relevant features. The leaping frogs algorithm tunes the parameters of fuzzy terms to achieve high accuracy.*

**Введение.** Рукописная подпись является исторически подтвержденным и наиболее часто используемым средством аутентификации человека. Система аутентификации на основе рукописной подписи состоит из средства снятия подписи и программного обеспечения, осуществляющего предобработку снятой подписи, выделение признаков и распознавание хозяина подписи по полученным признакам. Для распознавания требуется классификатор, обученный определять подлинность подписи и её владельца. В данной работе предложен способ аутентификации пользователя на основе динамических характеристик рукописной подписи с помощью нечеткого классификатора, использующего метаэвристические алгоритмы для отбора информативных признаков и настройки параметров термов.

**Материалы исследования.** Для проверки возможности создания классификаторов, реализующих процедуру аутентификации, была подготовлена таблица наблюдений, состоящая из признакового описания реальных рукописных подписей. С помощью графического планшета WACOM в процессе осуществления подписи были сформированы следующие признаки: 1) положение пера по осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ; 2) давление пера  $P$ ; 3) азимут  $\alpha$ ; 4) угол высоты пера относительно планшета  $\beta$ . Кроме того, для каждого признака были измерены скорость и ускорение их изменения со временем, выделенные в отдельные признаки. Набор наблюдений был создан из постоянной составляющей и первых семи гармоник разложения указанных последовательностей в ряд Фурье [1]. Таким образом, каждая запись таблицы

наблюдений представляла собой описание рукописной подписи 144 признаками и меткой класса, которая являлась номером расписывающегося пользователя.

Всего в эксперименте было задействовано восемь пользователей. Первый многократно вводил на графическом планшете свою подпись, остальные фальсифицировали подпись первого пользователя. Всего в базе данных было собрано 1559 подписей. Каждая полученная подпись подверглась предобработке, которая заключается в исправлении технических ошибок съема, приведении ориентации подписи к стандартному виду и масштабу.

**Нечеткий классификатор.** Классификация заключается в определении наиболее подходящего объекту класса по признаковому описанию объекта. Алгоритм генерации структуры обрабатывает таблицу наблюдений и создает базу продукционных правил типа «если-то» [2]. В «Если»-части правила содержится утверждение относительно использования входных переменных и их принадлежности нечетким термам, в «То»-части указывается значение выходной переменной в виде метки класса. Выход классификатора определяет степень принадлежности входных данных из таблицы наблюдений их термам. Критерий качества построенной модели определяется с помощью величины, называемой точностью классификации. Проблема построения нечеткого классификатора сводится к поиску максимума целевой функции. Достижение максимума возможно путем выбора наиболее информативных признаков и настройке параметров нечетких термов.

**Бинарный алгоритм гравитационного поиска.** Для отбора признаков использован бинарный алгоритм гравитационного поиска, основанный на использовании законов тяготения Ньютона. Задача алгоритма – найти такой вектор признаков  $S_{best}$ , который позволяет продемонстрировать высокую точность классификации при наименьшем количестве признаков. Начальная популяция  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_p\}$  задается случайным образом; для каждого вектора строится классификатор и оценивается точность. Далее в течение заданного количества итераций происходит расчет масс, сил тяготения, ускорений и скорости векторов-частиц. Элементы вектора обновляются путем преобразования численного значения скорости в бинарный эквивалент с помощью функции трансформации, которая определяет вероятность изменения значения элемента вектора на противоположное [3].

**Алгоритм прыгающих лягушек.** Настройка параметров нечетких термов проводилась с помощью непрерывного алгоритма прыгающих лягушек, имитирующего поведение лягушек в процессе поиска пищи [4]. Особенность алгоритма заключается в том, что начальная популяция векторов разбивается на группы – мемеплексы, внутри которых происходит локальный поиск путем перемещения худших частиц в направлении лучших в мемеплексе или глобально лучших в популяции. Спустя несколько локальных итераций мемеплексы объединяются в одну популяцию и, пройдя процедуру сортировки, разбиваются на мемеплексы снова. Цель работы непрерывного алгоритма прыгающих лягушек заключается в поиске  $\theta_{best}$  вектора параметров термов, который позволит максимально увеличить точность классификации на заданном наборе признаков  $S$ .

**Эксперимент.** Цель эксперимента заключалась в проверке эффективности построения нечеткого классификатора для определения подлинности рукописной подписи. Для эксперимента был подготовлен набор данных «Signature2», в котором экземпляры таблицы наблюдений, не принадлежащие первому пользователю, были объединены в один класс «злоумышленник». Эксперимент проводился в соответствии со схемой десятикратной кросс-валидации. На каждой обучающей выборке

осуществлялось построение нечеткого классификатора с двумя правилами и термами гауссового вида алгоритмом на основе экстремумов классов [2]. С помощью бинарного алгоритма гравитационного поиска проходила процедура выбора информативных признаков. На найденных наборах признаков были построены классификаторы, параметры которых настраивались непрерывным алгоритмом прыгающих лягушек. Обученные классификаторы были проверены на тестовых выборках.

Результаты работы построенных нечетких классификаторов приведены в таблице 2. Здесь  $N$  – номер выборки, на которой был получен данный набор признаков,  $F$  – количество признаков в наборе,  $E_{tr}$  – усредненный по десяти обучающим выборкам процент правильной классификации,  $E_{1st}$  – усредненный по десяти тестовым выборкам процент правильной классификации,  $E_{1st}$  и  $E_{2st}$  – процент ошибки первого и второго рода соответственно.

Таблица 1

Результаты работы нечетких классификаторов на наборе данных Signature2

N	F	$E_{tr}$	$E_{1st}$	$E_{1st}$	$E_{2st}$	Признаки
1	6	99,94	99,74	1,07	0,08	4, 5, 17, 33, 74, 140
2	5	99,80	99,62	1,07	0,24	2, 33, 36, 61, 142
3	4	99,87	100	0	0	18, 33, 64, 143
4	6	99,87	99,74	0,36	0,24	14, 23, 33, 47, 126, 144
5	4	99,90	99,87	0	0,16	5, 33, 48, 97
6	3	100	99,87	0	0,08	22, 33, 144
7	8	99,98	99,81	0,36	0,16	11, 22, 33, 47, 48, 56, 105, 144
8	3	99,85	99,62	0,71	0,32	18, 33, 143
9	5	100	99,94	0	0,08	4, 13, 33, 67, 121
10	3	99,99	99,94	0	0,08	22, 33, 143
<b>Ср.</b>	<b>4,7</b>	<b>99,92</b>	<b>99,82</b>	<b>0,36</b>	<b>0,14</b>	

**Заключение.** Результаты поставленного эксперимента демонстрируют, что с помощью метаэвристических классификаторов может быть построен достаточно точный и компактный нечеткий классификатор. Такой классификатор может использоваться в качестве элемента системы контроля доступа для прохождения аутентификации пользователя по его рукописной подписи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E. Kostyuchenko et al. Integration of Bayesian classifier and perceptron for problem identification on dynamics signature using a genetic algorithm for the identification threshold selection // Lecture Notes in Computer Science. – 2016. – Vol. 9719. – P. 620-627.
2. Bardamova M., Konev A., Hodashinsky I., Shelupanov A. A Fuzzy Classifier with Feature Selection Based on the Gravitational Search Algorithm // Symmetry. – 2018. – Vol. 10. – P. 609.
3. Rashedi E., Nezamabadi-pour H., Saryazdi S. BGSA: binary gravitational search algorithm // Nat Comput. – 2010. – Vol. 9. – P. 727-745.
4. Narimani M.R. A New Modified Shuffle Frog Leaping Algorithm for NonSmooth Economic Dispath // World Applied Sciences Journal. – 2011. – P. 803-814

**МОДУЛЯЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ  
ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ ПРИ ОПТИЧЕСКОМ ИНДУЦИРОВАНИИ  
КАНАЛЬНЫХ ВОЛНОВОДНЫХ СТРУКТУР**

А.Д. Безпалый

Научный руководитель: старший научный сотрудник, д.ф.-м.н. А.Е. Мандель  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: [id\\_alex@list.ru](mailto:id_alex@list.ru)

**MODULATION OF REFRACTIVE INDEX IN A SURFACE LAYER OF ELECTRO-OPTICAL  
CRYSTALS DURING THE OPTICAL INDUCING OF CHANNEL WAVEGUIDE STRUCTURES**

A.D. Bezpaluy

Scientific Supervisor: Senior Researcher, Dr. A.E. Mandel

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

E-mail: [id\\_alex@list.ru](mailto:id_alex@list.ru)

***Abstract.** The experimental study of refractive index changes contributed by point-by-point inducing of channel waveguide structures in a copper-doped surface layer of lithium niobate is carried out. The influence of laser radiation from green and red spectral regions on the values of refractive index changes in the doped layer depending on exposure of a sample surface with different time is presented.*

**Введение.** Появление полупроводниковых источников когерентного излучения послужило развитию таких областей науки и техники, как квантовая электроника и фотоника. Наличие таких свойств у полупроводниковых лазеров, как низкая потребляемая мощность, компактность и низкая стоимость, стало причиной для осуществления операций передачи, обработки и приема информации в оптическом диапазоне. Однако для управления оптическим излучением необходимо применять различные методы преобразования светового пучка. В связи с этим интенсивно исследуется воздействие электромагнитных, акустических и механических полей на изменения свойств оптических материалов [1]. Одним из широко используемых оптических материалов является электрооптический кристалл ниобата лития, т. к. он обладает уникальным набором физических и оптических свойств в сочетании с коммерческой доступностью [2]. Легирование кристалла ниобата лития различными примесями, такими как железо (Fe) или медь (Cu), усиливает его фоторефрактивные свойства, заключающиеся в изменении показателя преломления под воздействием света. Следует отметить, что поверхностное легирование позволяет внедрить в материал большую концентрацию примеси без значительного повышения чувствительности к механическим воздействиям по сравнению с легированием в процессе роста кристалла [3]. Благодаря фоторефрактивному эффекту в кристалле ниобата лития возможно создавать различные элементы управления светом при помощи лазерного излучения. Такими элементами являются дифракционные решетки или каналные волноводные структуры, топология которых задается способом формирования. Так, дифракционные и каналные волноводные структуры можно создавать при помощи

амплитудного транспаранта или фокусировки лазерного излучения сферической либо цилиндрической линзой [2, 4].

Целью данной работы является исследование влияния лазерного излучения на изменения показателя преломления поверхностного слоя ниобата лития при разном времени экспонирования поверхности кристалла в процессе оптического индуцирования канальных волноводных структур.

**Экспериментальная часть и полученные результаты.** Канальные волноводные структуры создавались в кристаллическом образце ниобата лития  $Y$ -среза с размерами  $30 \times 3 \times 15 \text{ мм}^3$  по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  соответственно. Экспериментальный образец поверхностно легирован ионами меди (Cu) методом твердотельной диффузии. Для осуществления процесса диффузии на поверхность кристалла наносился тонкий слой меди термическим распылением, после чего образец выдерживался в печи в течение 10 часов при температуре  $900^\circ\text{C}$ . В результате в приповерхностной области кристалла сформировался слой  $\text{Cu}:\text{LiNbO}_3$ , толщина которого составила  $h \approx 200 \text{ мкм}$ .

Формирование канальных оптических волноводов осуществлялось за счет фоторефрактивного эффекта [4]. В качестве источник излучения использовался твердотельный  $\text{YAG}:\text{Nd}^{3+}$  лазер с удвоением частоты ( $\lambda = 532 \text{ нм}$ ) и He-Ne лазер ( $\lambda = 633 \text{ нм}$ ). Выходная мощность обоих источников составила 10 мВт. Световой пучок фокусировался на поверхность  $XZ$  образца  $\text{Cu}:\text{LiNbO}_3$  микрообъективом с десятикратным увеличением. Поляризация экспонирующего излучения в экспериментах соответствовала либо обыкновенной, либо необыкновенной волне в кристалле. Распределение интенсивности света на поверхности образца регистрировалось анализатором лазерных пучков, сопряженным с персональным компьютером. Диаметр фокусированного пучка в области перетяжки составлял  $\sim 20 \text{ мкм}$  по уровню 0,5 максимальной интенсивности. Экспериментальный образец размещался на микрометрическом позиционере, точность перемещения которого равнялась 5 мкм.

В экспериментах облучаемые области представляли собой параллельные полосы с пониженным показателем преломления, ориентированные в направлении оси  $X$  кристалла. Каждая из полосок состояла из набора последовательно расположенных точек. Время экспонирования одной точки в экспериментах изменялось от 0,5 до 150 секунд. Расстояние между центрами точек составило 20 мкм. Исследования величины изменений показателя преломления  $\Delta n$  проводились с использованием интерферометра Жамена (рис. 1).

Источником излучения в интерферометре послужил He-Ne лазер с длиной волны 633 нм. Интерференционная картина регистрировалась ПЗС-камерой. На основе анализа интерферограмм определялась величина изменений показателя преломления  $\Delta n$  при различном времени экспонирования поверхности кристалла. При времени записи от 0,5 до 45 секунд для обыкновенной поляризации экспонирующего излучения с  $\lambda = 532 \text{ нм}$  величина  $\Delta n$  в области индуцированных полос варьировалась в пределах  $3 \cdot 10^{-5} - 5,5 \cdot 10^{-4}$ , для необыкновенной – в пределах  $1 \cdot 10^{-6} - 2,2 \cdot 10^{-3}$ .

В случае индуцирования структур излучением He-Ne лазера с  $\lambda = 633 \text{ нм}$  время экспонирования поверхности образца изменялось от 30 до 200 секунд. В наших экспериментах для обыкновенной поляризации экспонирующего излучения величина  $\Delta n$  в области индуцированных полос варьировалась в пределах  $5 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-4}$ , для необыкновенной – в пределах  $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-3}$ .



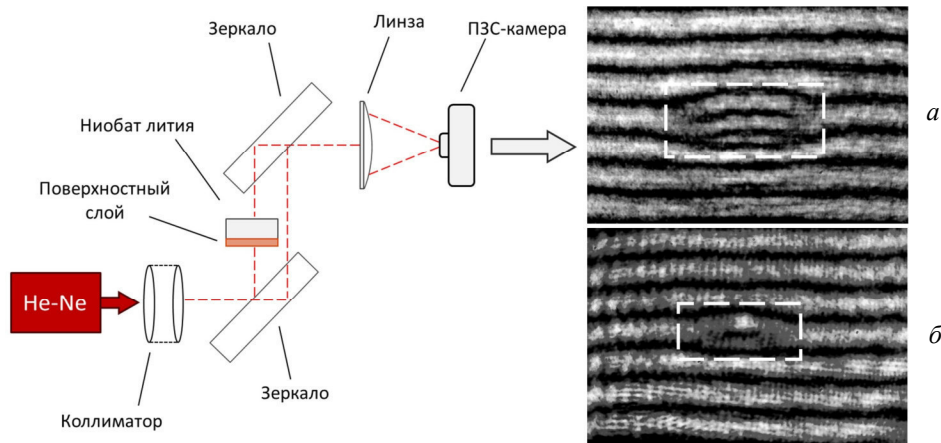


Рис. 1. Интерференционная картина на выходе интерферометра Жамена при размещении кристалла в одном из плеч: а – в области индуцированной полоски при 25-секундном экспонировании поверхности образца излучением с  $\lambda = 532$  нм; б – в области индуцированной полоски при 150-секундном экспонировании поверхности образца излучением с  $\lambda = 633$  нм

**Заключение.** Таким образом, экспериментально определены изменения показателя преломления поверхностного слоя ниобата лития при поточечном индуцировании канальных волноводных структур. Показано, что при экспонировании поверхности кристалла излучением с обыкновенной поляризацией из зеленой области спектра  $\Delta n$  поверхностного слоя достигает насыщения  $5,5 \cdot 10^{-4}$  в течение 20 секунд, в то время как при воздействии излучения из красной области спектра на поверхность образца  $\Delta n$  достигает насыщения  $3 \cdot 10^{-4}$  в течение 80 секунд. Для необыкновенной поляризации излучения с  $\lambda = 532$  нм уровень насыщения  $\Delta n \approx 2,2 \cdot 10^{-3}$  достигается после 35 секунд, с  $\lambda = 633$  нм  $\Delta n$  достигает насыщения с величиной  $\sim 1 \cdot 10^{-3}$  после 300 с.

Работа выполнена в рамках проектной части Госзадания Минобрнауки России на 2017-2019 годы (проект по заявке 3.1110.2017/ПЧ).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сонин А.С. Электрооптические кристаллы / А.С. Сонин, А.С. Василевская. – М.: Атомиздат, 1971 г. – 328 с.
2. Vittadello L. Photorefractive direct laser writing / L. Vittadello, A. Zaltron, N. Argiolas, M. Bazzan, N. Rossetto, R. Signorini // Journal of Physics D. – 2016. – Vol. 49, (125103). – 9 p.
3. Davydov S.A. Quasi-one-dimensional photonic lattices and superlattices in lithium niobate: linear and nonlinear discrete diffraction of light / S.A. Davydov, P.A. Trenikhin, V.M. Shandarov, K.V. Shandarova, D. Kip, Ch. Rueter, F. Chen // Physics of Wave Phenomena. – 2010. – V. 18, No. 1. – P. 1–6.
4. Bezpaly A.D. Optical writing of channel waveguides and 1D diffraction gratings in photorefractive surface layers of lithium niobate / A.D. Bezpaly, A.O. Verkhoturov, and V.M. Shandarov // Ferroelectrics. – 2017. – Vol. 515, Iss. 1. – P. 34–43.

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ГОЛОСОВОГО ВВОДА В ВИДЕ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ  
ЭФФЕКТИВНОГО ЗАПОЛНЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ КАРТОЧЕК ПАЦИЕНТОВ**

Д.Д. Богданов, И.С. Демченко

Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.В. Аксёнов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: [ddb4@tpu.ru](mailto:ddb4@tpu.ru)

**VOICE INPUT WEB-APPLICATION PROGRAM DEVELOPMENT FOR EFFICIENTLY FILLING  
IN PATIENTS MEDICAL RECORDS**

D.D. Bogdanov, I.S. Demchenko

Scientific Supervisor: Associate Professor, PhD S.V. Axonov

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

E-mail: [ddb4@tpu.ru](mailto:ddb4@tpu.ru)

***Abstract.** The article examines the efficiency and the possibility of using voice input in the Chrome browser. The expediency of using this method for doctors of medical institutions is substantiated.*

**Введение.** На сегодняшний день, самым распространенным устройством ввода информации в компьютер является клавиатура. Но иногда оператору ПК приходится вводить большое количество информации в компьютер. Бывает и такое, что оператор ПК не обладает должным навыком печати на клавиатуре, из-за чего процесс ввода информации в компьютер затягивается. Вследствие чего, происходит потеря такого драгоценного ресурса, как время.

Одним из способов решения данной проблемы является использование речевых технологий. Создание систем автоматического распознавания речи достаточно актуальное направление в сфере развития информационных технологий. Системы распознавания речи — системы, которые позволяют преобразовывать в компьютерную форму, представленную слитную проблемно-ориентированную человеческую речь.

Многим врачам из разных медицинских учреждений приходится заполнять медицинские карточки пациентов. Зачастую в медицинские карточки вводят много подробной информации о пациентах, из-за чего врачам приходится тратить значительную часть времени на заполнение этих карточек. В рамках данного проекта предлагается внедрение системы голосового ввода для заполнения медицинских карточек пациентов.

Согласно [1], к внедряемым в медицинские учреждения информационным системам предъявляются следующие требования: врачи и администрация должны быть освобождены от трудоемкого процесса составления отчетов; необходимо прекратить зависимость от почерка врача и от многократного, повторного ввода данных; рабочее место медицинского сотрудника должно отвечать современным требованиям: удобный и интуитивно понятный пользовательский интерфейс, показ только необходимых для работы форм; качественно изменить уровень медицинского обслуживания в лечебных учреждениях и повысить эффективность их работы.

Использование медицинским персоналом технологии голосового ввода информации в медицинские карточки пациентов значительно ускорило бы ввод данных. Данное нововведение позволит врачу сэкономить его рабочее время, следовательно, это приведет и к повышению его производительности на рабочем месте.

**Экспериментальная часть.** Перед нами была поставлена задача разработки программы с голосовым интерфейсом для ввода и оцифровки информации из медицинских карточек пациентов. Было решено разработать программу в виде web-приложения.

Для реализации программы было решено использовать уже готовый модуль голосового ввода, а именно webkit Speech Recognition (Web Speech API) который используется в Chrome. Данный API заботится о конфиденциальности пользователей и нигде не хранит историю распознавания, а также не хранит нигде введенный текст. Перед использованием распознавания речи, пользователь должен разрешить доступ к микрофону (исключение составляет, если программа запущена через локальный web-сервер) [2]. Для использования данного модуля в web-приложении необходимо подключить его с помощью языка javascript. При этом в коде необходимо указать, что будет использоваться русский язык.

**Результаты.** Согласно поставленной задаче, было разработано web-приложение для голосового ввода информации для документа «Осмотр врача при поступлении». Разработанная форма содержит все необходимые поля, соответствующие полям документа. В правом верхнем углу каждого поля ввода есть кнопка микрофона, как показано на Рисунке 1.

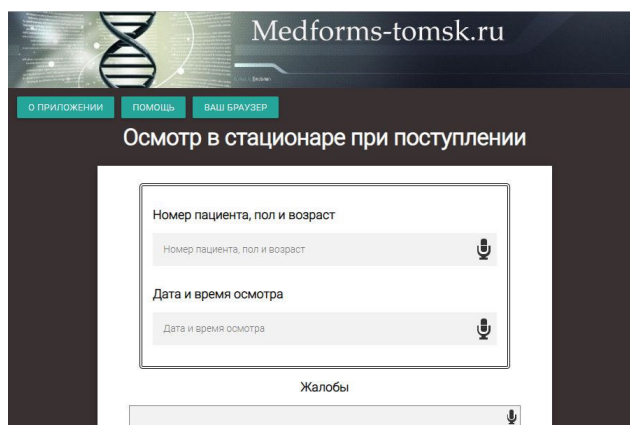


Рис. 1. Интерфейс web-приложения

При нажатии на кнопку, начнется запись голоса с помощью периферийного микрофона. После того, как врач перестал говорить, запись остановится через несколько секунд. Также врач может самостоятельно остановить запись при повторном нажатии на кнопку с иконкой микрофона. В процессе голосового ввода границы используемого поля выделяются красным, выделение снимается при остановке голосового ввода любым из описанных выше способов.

По окончании ввода всех данных, в последнем поле врач вводит имя файла, который будет создан и сохранен на локальный компьютер при нажатии на кнопку «Сохранить данные». В созданном файле формата .txt сохраняются данные всех заполненных полей. На рисунке 2 представлен пример текстового файла, полученного в результате работы web-приложения.

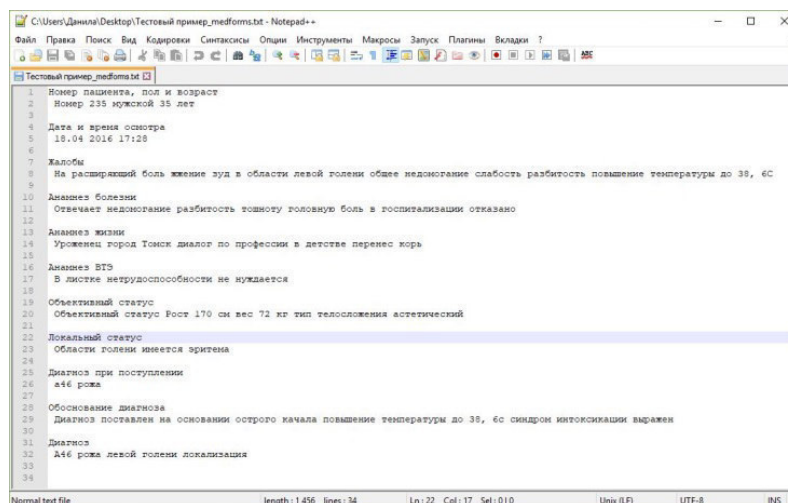


Рис. 2. Пример выходного текстового файла

Таким образом, благодаря web-приложению врачи повышают свою производительность труда. При тестировании данного API было выявлено, что он довольно неплохо преобразовывает и записывает тексты в объекты input и textarea HTML 5. При записи голоса использовался встроенный микрофон. Данный проект находится в открытом доступе на сайте medforms-tomsk.ru.

При размещении данной программы на удаленный сервер возникла проблема с предоставлением доступа браузера над микрофоном компьютера. Данная проблема связана с получением SSL – сертификата. Протокол SSL используется в тех случаях, если нужно обеспечить должный уровень защиты информации, которую пользователь передает серверу [4]. Для получения данного сертификата необходимы финансовые вложения. Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №16-47-700289.

**Закключение.** На данный момент разработано web-приложение для более быстрого заполнения документа «Осмотр врача при поступлении» с помощью технологии голосового ввода. Данное приложение может быть использовано для оцифровки уже имеющихся историй болезни для последующего анализа, а также может использоваться врачом для более быстрого заполнения документации новых пациентов. Приложение является удобным инструментом с возможностью интеграции в существующие системы ведения медицинского документооборота.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационные системы в медицине: Учебное пособие / Н.В.Абрамов, Н.В.Мотовилов, Н.Д. Наумов, С.Н. Черкасов. - Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гуманит. ун-та, 2008. - 171 с.
2. JavaScript: Web API чтение текста и распознавание голоса [Электронный ресурс] / Блог о программировании. – URL: <https://archakov.im/post/javascript-web-api-recognition-and-speech-text.html> (дата обращения: 9.12.2018).
3. Что такое SSL и зачем он нужен [Электронный ресурс] / Colocation, аренда стоек, размещение серверов, сервер хостинг – URL: <http://www.colocat.ru/texts/ssl.html> (дата обращения: 9.12.2018).

### АЗОТИРОВАНИЕ ТИТАНА ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В СРЕДНЕМ ВАКУУМЕ

Е.А. Гвозденко, Д.Б. Золотухин, А.В. Тюньков

Научный руководитель: с. н. с., к. т. н. Ю.Г. Юшков

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: [yushkovyu@mail.ru](mailto:yushkovyu@mail.ru)

### NITRIDING OF TITANIUM BY ELECTRON BEAM IN MEDIUM VACUUM

E.A. Gvozdenko, D.B. Zolotukhin, A.V. Tyunkov

Scientific Supervisor: Senior Research Fellow, Dr. Yu.G. Yushkov

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

E-mail: [yushkovyu@mail.ru](mailto:yushkovyu@mail.ru)

***Abstract.** We present the results on nitriding of technically-pure titanium brand BT1-0 by electron beam, generated in nitrogen atmosphere by plasma-cathode electron source. It was found that sample temperature significantly effects on the hardness and internal structure of its surface layers. With the temperature growth, the hardness of the sample surface increases several times, together with the increase in grain size and nitride layers thickness. Nitrided layer thickness reaches around 25  $\mu\text{m}$  for the experiment duration of 1 hour.*

**Введение.** Титан и сплавы на его основе обладают универсальным комплексом физико-механических свойств, наиболее важными из которых являются жаропрочность, немагнитность, высокая стойкость к коррозии, сравнительно малый удельный вес [1]. Однако, наряду с положительными свойствами они обладают низкой поверхностной твердостью и низкой износостойкостью, что ограничивает их применение в качестве конструкционных материалов в такой области как турбостроение. Насыщение поверхностных слоев конструкционных материалов азотом (процесс азотирования) наряду с «закалкой» и «отпуском» является одним из основных способов для улучшения их эксплуатационных свойств.

К методам азотирования относятся: газовое азотирование [2], ионное азотирование, ионная имплантация [3]. Ионное азотирование выгодно отличается от газового значительным уменьшением продолжительности процесса и возможностью осуществлять процесс при температурах ниже температуры полиморфного превращения ( $882\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). В отличие от ионной имплантации, ионное азотирование обеспечивает глубокое проникновение ионов азота внутрь образца без образования нежелательных дефектов вызванных бомбардировкой высокоэнергетическими ионами.

Одним из методов ионного азотирования является азотирование электронным пучком, генерируемого электронным пучком в среднем вакууме (0,1–100 Па) [4]. Генерация электронного пучка в указанном диапазоне давлений обеспечивает создание пучковой плазмы с высоким содержанием как ионов, так и нейтралов атомарного и молекулярного азота, что является одним из ключевым фактором в диффузии азота в поверхностные слои. Другим достоинством метода является нагрев образца за счет энергии пучка электронов без привлечения сторонних источников.

В настоящей работе представлены результаты азотирования технически чистого титана ВТ1-0 в атмосфере азота при различных температурах электронным пучком, генерируемым форвакуумным плазменным источником электронов с целью увеличения твердости его поверхностных слоев.

**Экспериментальная часть.** Схема эксперимента представлена на рис. 1. Электронный пучок 1 генерировался электронным источником с плазменным катодом, конструкция и принцип работы которого подробно представлены в [4]. Распространяясь в пространстве вакуумной камеры в среде азота, пучок генерирует плотную плазму и одновременно осуществляет нагрев азотируемого образца 3 до необходимой температуры. Температура образца контролировалась бесконтактным оптическим пирометром. Титановый образец (диаметром 20 мм и толщиной 3 мм) размещался на танталовом держателе 4 и коллекторе 5, выполненного из стали диаметром 80 мм. Диаметр пучка электронов был соизмерим с диаметром коллектора и контролировался миллиамперметром. Перед азотированием камера откачивалась до остаточного давления  $5 \cdot 10^{-3}$  Па, а поверхность образца подвергалась ионному травлению в среде аргона. Параметры травления и азотирования представлены в таблице 1.

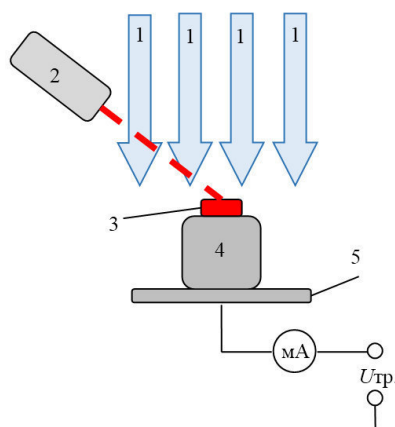


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – электронный пучок, 2 – оптический пирометр, 3 – азотируемый образец, 4 – танталовый держатель, коллектор

Таблица 1

Параметры травления и азотирования поверхности образцов

Параметры травления		Параметры азотирования			
Параметр	Значение	Параметр	Образец №1	Образец №2	Образец №3
$U_{\text{вск.}}$ , кВ	3	$U_{\text{вск.}}$ , кВ	4,5	5	6
$U_{\text{тр.}}$ , В	250	$I_{\text{пучка}}$ , мА	100	100	100
$I_{\text{пучка}}$ , мА	100	$I_{\text{кол.}}$ , мА	45	45	45
$I_{\text{кол.}}$ , мА	12	$p$ , Па	8	8	8
$p$ , Па	5	$t$ , мин.	60	60	60
$t$ , мин.	20	$t_{\text{азотирования}}$ , мин.	720	860	1000

**Результаты.** На рис. 3 представлены поперечные шлифы азотированных образцов с распределением микротвердости по глубине образца. Видно, что с увеличением температуры образца с  $720^{\circ}\text{C}$  до  $1000^{\circ}\text{C}$  происходит значительная трансформация внутренней структуры образцов. До температуры полиморфного превращения структура схожа, после имеет явную направленность и больший размер зерен, поверхность образца немного оплавлена.



Кроме этого, наблюдается увеличение нитридной зоны (полоса белого свечения слева). Увеличение твердости поверхностного слоя с 300  $HV$  до 800  $HV$  с увеличением температуры объясняется увеличением скорости диффузии азота.

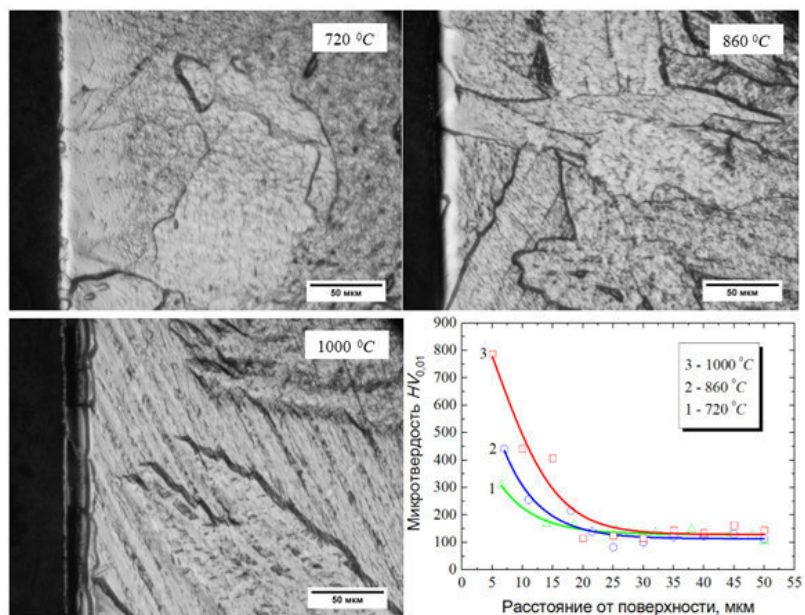


Рис. 2. Поперечный шлейф образцов и распределение твердости по глубине

Немонотонный рост твердости азотируемого при 1000 °C образца объясняется большей скоростью диффузии в структуре  $\beta$ -титана в отличие от структуры  $\alpha$ -титана. Стоит отметить, что при продолжительности азотирования 1 час глубина проникновения азота составила порядка 20–25  $\mu\text{m}$ , что практически неосуществимо в традиционных системах ионного азотирования в тлеющем разряде. Данный факт, по мнению авторов, связан с большим локальным энергетическим воздействием электронного пучка на образец, что способствует диффузии атомов азота вглубь образца.

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлено, что с увеличением мощности пучка, а, следовательно, и температуры образца меняется как внутренняя структура, так и твердость поверхностных азотированных слоев. Большие скорости азотирования по сравнению с традиционными методами ионного азотирования в тлеющем разряде обуславливают перспективность дальнейших исследований в данном направлении.

Работа поддержана грантом РФФИ № 18-58-00004 Бел\_а.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазунов С.Г., Моисеев В.Н. Конструкционные титановые сплавы. – М.: Металлургия, 1974. – 368 с.
2. Малинов С., Зачева А., Ша В. Связь микроструктуры и свойства промышленных титановых сплавов с параметрами процесса азотирования из газовой фазы // МиТОМ. – 2004. – № 7. – С. 21–28.
3. Братушка С.Н., Соколов С.В. Влияние плазменной обработки и ионной имплантации на свойства структурно-фазовые изменения в титановых сплавах // ФИП PSE. – 2012. – Т. 10, № 2. С. 4–27.
4. Burdovitsin V.A., Golosov D.A., Oks E.M., Tyunkov A.V., Yushkov Yu.G., Zolotukhin D.B., Zavadsky S.M. Electron beam nitriding of titanium in medium vacuum // Surface and Coatings Technology. – 2019. – Vol. 358, – P. 726–731.

ДВУХКОНТУРНАЯ СИСТЕМА ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ИНВЕРТИРУЮЩЕМ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ

И.Е. Гедзенко

Научный руководитель: профессор, к.т.н. В.Д. Семёнов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: [gedzenkoie@gmail.com](mailto:gedzenkoie@gmail.com)

TWO-CIRCUIT SYSTEM OF SLAVE REGULATION IN THE INVERTING CONVERTER

I.E. Gedzenko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.D. Semyonov

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

E-mail: [gedzenkoie@gmail.com](mailto:gedzenkoie@gmail.com)

**Abstract.** The article discusses the capabilities of the Matlab program when setting up a two-loop system of subordinate regulation in the inverting converter.

**Введение.** При разработке источников питания устанавливаются конкретные требования к показателям качества его работы в динамическом режиме. Соответствующие показатели достигаются за счёт введения в систему автоматического управления (САУ) корректирующих звеньев  $W_{\text{пер}}(p)$ . Целью настоящей работы является настройка двухконтурной системы подчинённого регулирования в инвертирующем преобразователе на требуемые динамические параметры. В общем случае [1] структура такой системы имеет вид, показанный на рисунке 1. Чаще всего точная передаточная функция объекта регулирования  $G_{o,k}(p)$  неизвестна. Большие возможности при этом открывает среда Matlab, поскольку её имитационные модели достаточно точно описывает реальные импульсные источники питания.

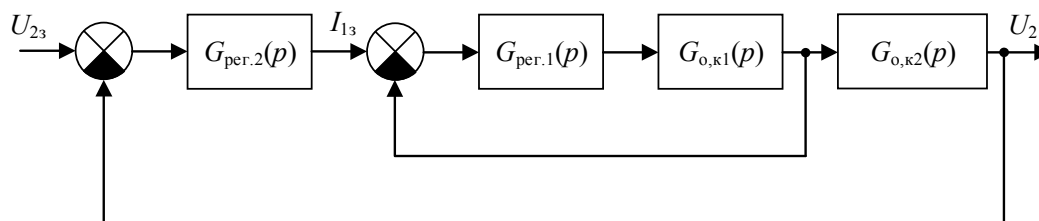


Рис. 1. Структурная схема САУ с подчинённым регулированием

Целью настройки системы [2] является приведение передаточной функции разомкнутой цепи  $G_{\text{раз,ск}}(p)$  контура тока и напряжения к следующему виду:

$$G_{\text{раз,ск}}(p) = \frac{1}{p\alpha T_{\mu}(pT_{\mu} + 1)}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент демпфирования,  $T_{\mu}$  – эквивалентная некомпенсируемая постоянная.

Частным случаем уравнения (1) является  $\alpha = 2$ , в этом случая система считается настроенной на технический оптимум и имеет наилучший переходный процесс [1].

Для получения передаточной функции в виде уравнения (1) последовательно с объектом регулирования вводится корректирующее звено, которое можно определить по уравнению:

$$G_{\text{пер}} = \frac{1}{G_{\text{о,к}}(p) p \alpha T_{\mu}}, \quad (2)$$

где  $G_{\text{о,к}}(p)$  – передаточная функция объекта регулирования.

Соответственно в САУ на рисунке 1 сначала настраивается контур по току, а затем контур по напряжению, с учётом замкнутого контура по току.

**Экспериментальная часть.** Имитационная модель инвертирующего преобразователя приведена на рисунке 2.

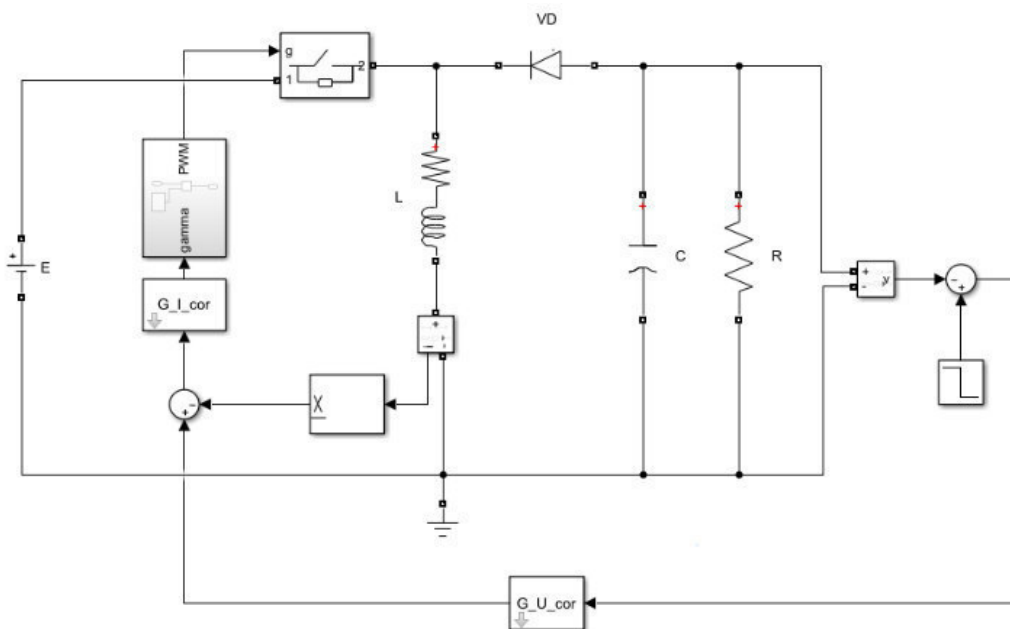


Рис. 2. Имитационная модель в программе Matlab Simulink

С помощью приложения System Identification Toolbox™ по реакции системы на ступенчатое воздействие определялась передаточная функцию объекта регулирования с указанием числа нулей и полюсов. Для обоих контуров было принято два полюса и один нуль. Точность передаточной функции первого контура составила 79,31%, для второго 98,72%. Далее по формуле (2) рассчитывалось корректирующее звено сначала для контура тока, затем для контура напряжения. Найденные звенья подключались в цепь обратной связи с помощью блока LTI System.

Для обоих контуров передаточная функция объекта регулирования принимает вид:

$$G_{\text{о,к1}}(p) = \frac{k(\tau p + 1)}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}. \quad (3)$$

Подставляя уравнение (3) в (2) и проводя соответствующие преобразования корректирующее звено принимает вид:

$$G_{\text{пер}}(p) = \frac{K_A}{\tau p + 1} \left( K_{\text{п}} + \frac{K_{\text{и}}}{p} + K_{\text{д}} p \right), \quad (4)$$

где  $K_A = \frac{1}{\alpha T_{\mu} k}$ ,  $K_{\text{п}} = 2\xi T$ ,  $K_{\text{и}} = 1$ ,  $K_{\text{д}} = T^2$ .

**Результаты.** На рисунке 3 приведена осциллограмма среднего тока дросселя и управляющего воздействия при различных  $T_{\mu}$ .

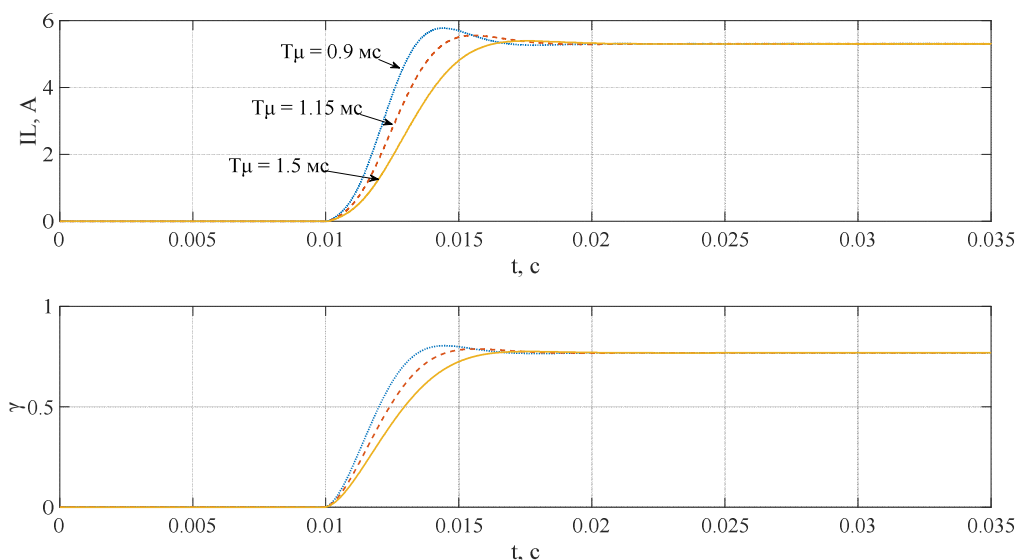


Рис. 3. Осциллограмма среднего тока дросселя и управляющего воздействия при различных  $T_{\mu}$

Таблица 1

Зависимость времени переходного процесса и перерегулирования при различных  $T_{\mu}$

$T_{\mu}$ , мс	$t_{\text{пт}}$ , мс	$\sigma$ , %
0,9	3,194	8,8
1,15	4,047	4,7
1,5	6,388	1,5

Варьируя  $T_{\mu}$  можно достигнуть требуемые показатели качества переходного процесса.

**Заключение.** Программа Matlab позволяет проводить настройки импульсных систем на требуемые динамические параметры, при этом их можно рассматривать в виде «чёрного ящика», когда передаточная функция точно неизвестна, однако при этом требуется знание не только Matlab, но и ТАУ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов Б.И., Лебедев Ю.М. Теория автоматического управления: учеб. методическое пособие. – Томск: Факультет дистанционного обучения, ТУСУР, 2010. – 162 с.
2. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями / О.В. Слежановский, Л.Х. Дацковский, И.С. Кузнецов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ДРОССЕЛЕЙ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ПОСТОЯННОГО  
НАПРЯЖЕНИЯ**

П.В. Дмитренко

Научный руководитель: ведущий инженер Д.В. Пайгин

ООО «ЛЭМЗ-Т»,

Россия, г. Томск, пр. Развития, 8, 634055

E-mail: dmitrenko\_pv@tomsk.lemz.ru

**APPLICATION OF POWDER INDUCTOR IN DC CONVERTERS**

P.V. Dmitrenko

Scientific Supervisor: senior engineer D.V. Paigin

Ltd "LEMZ-T", Russia, Tomsk, Razvitia Street, 8, 634055

E-mail: dmitrenko\_pv@tomsk.lemz.ru

***Abstract.** This article is about new chokes made from 5BDSR alloy powder. The article discusses their use in converters.*

**Введение.** Аморфные металлические сплавы относительно новый материал, который обладает рядом свойств отличных от «классических» материалов. В последнее время такие сплавы широко применяют в электронике в качестве материалов для магнитопроводов в дросселях и трансформаторах.

Существуют марки отечественных нанокристаллических аморфных сплавов, которые не уступают по основным характеристикам лучшим зарубежным образцам, но все отечественные производители изготавливают только ленточные сердечники из указанных сплавов. Использование ленточных магнитопроводов ограничено стандартными типоразмерами, что не всегда является оптимальным. Кроме того, хрупкость ленты ограничивает номенклатуру сердечников для миниатюрной аппаратуры.

Ашинский металлургический завод выпускает аморфный нанокристаллический сплав 5БДСР с характеристиками на уровне мировых материалов. С недавнего времени АМЕТ предлагает для потребителей порошок из сплава 5БДСР, полученный методом измельчения готовых термообработанных лент. Магнитопроводы изготовленные из порошка наследуют все магнитные свойства исходного материала такие как: высокая индукция насыщения, высокая температура Кюри, низкое значением коэрцитивной силы [1].

Цель данной работы: исследовать работу порошковых дросселей, изготовленных их порошка 5БДСР в составе преобразователей напряжения, в рамках импортозамещения малогабаритных магнитных элементов.

**Изготовление дросселей из порошка.** Процесс изготовления дросселей не сложен и не требует специфического дорогостоящего оборудования. Коротко его можно описать так: изготавливается бескаркасная обмотка, засыпается порошком, смешанным со связывающим веществом, сдавливается в пресс-форме, далее «запекается» в печи, при температуре не выше 120 градусов. После этого получаем готовый дроссель. На рис. 1 представлена фотография готовых дросселей.

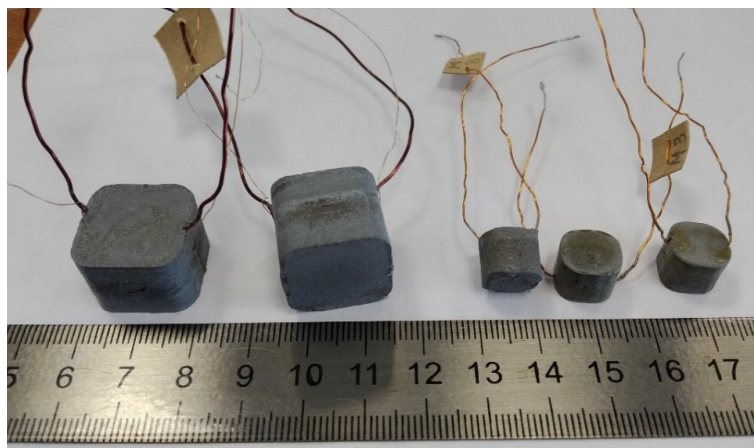


Рис. 1. Готовые дроссели

**Применение порошковых дросселей в преобразователях напряжения.** Преобразовать напряжения понижающего типа на основе микросхемы 1393EY014 рис. 2. Параметры преобразователя: входное напряжение 8,5–36 В, настраиваемое выходное напряжение 1–32 В, максимальный ток нагрузки 3 А, частота преобразования 260 кГц. Изначально в изделии был использован готовый дроссель фирмы Murata, т.к. отечественная промышленность не выпускает малогабаритных дросселей подходящих для данного преобразователя. Были спроектированы и изготовлены порошковые дроссели, и проведено сравнение КПД преобразователя.

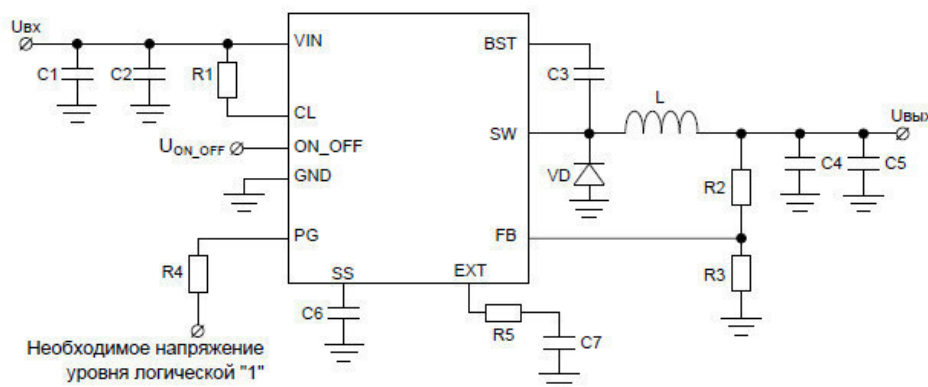


Рис. 2. Понижающий преобразователь на основе 1393EY014

Таблица 1

КПД понижающего преобразователя с разными дросселями

Дроссель	Габариты	Индуктивность, мкГн	КПД, %
Murata	12,1×12,1×8,5	22	71,7
Образец 1	10,4×10,5×8,7	24	74,3
Образец 2	11,4×11,6×8,5	26	75,0

Как видно из таблицы применение порошковых дросселей привело к увеличению КПД, при меньших габаритах самих дросселей. Это связано с уменьшением потерь. Так же необходимо отметить меньшую рабочую температуру исследуемых дросселей относительно стандартного.



Были произведены исследование работы дросселей в схеме обратного преобразователя с active clamp рис. 3. Был спроектирован двухобмоточный дроссель L1. Основные характеристики преобразователя: входное напряжение 13–90 В, выходное напряжение 12 В, мощность 50 Вт, частота преобразования 140 кГц. Изначально в схеме использовался дроссель, намотанный на стандартный кольцевой сердечник из того же сплава 5БДСР. В таблице 2 приведена сравнительная характеристика.

Изготовленный порошковый дроссель оказался несколько больше по габаритам, и меньшим по индуктивности чем «классический». Это связано с технологией прессования пока не позволяющей получать высокую магнитную проницаемость. Уровни потерь в обоих дросселях сопоставимые.

Таблица 2

Сравнение дросселей для прямоходового преобразователя

Дроссель	Габариты	Индуктивность W1, мкГн	КПД, %
«классический»	$D = 20 \ h = 11$	150	85,5
порошковый	18,7×18,7×13,6	136	85,7

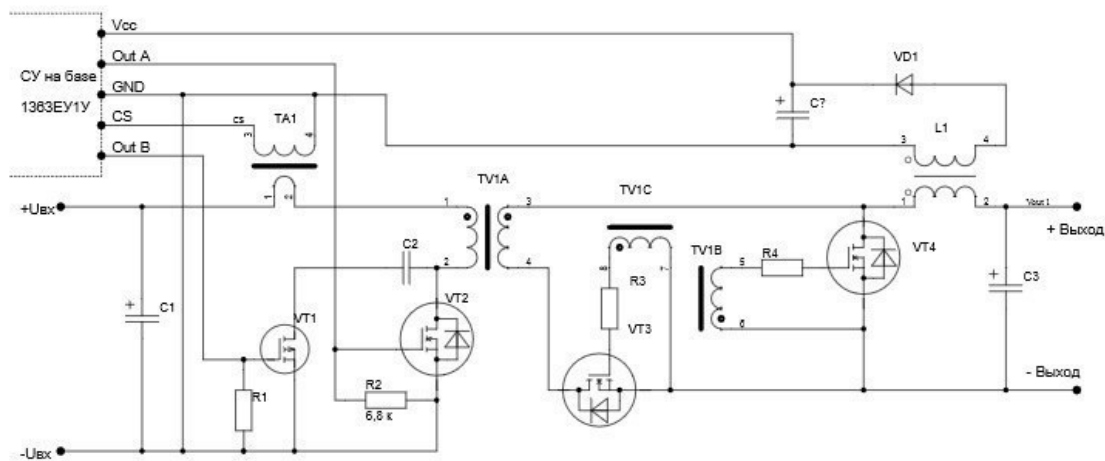


Рис. 3. Схема прямоходового преобразователя с active clamp

**Заключение.** Изготовленные из порошка дроссели можно эффективно применять в области, где необходим большой ток и малая индуктивность, при этом их применение может привести к уменьшению габаритов и увеличению КПД. Оптимальной областью применения для данных дросселей будут схемы, в которых высокая постоянная составляющая тока, при относительно небольшой переменной.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буркин Е.Ю. Дурницкий В.А. Кастеров Д.С. Пайгин Д. В. Исследование магнитных характеристик порошковых магнитопроводов на основе нанокристаллического сплава 5БДСР // Материалы 14 международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения» АПЭП-2018. – Новосибирск, 2018. – Т 4. – С. 131–134.
2. Каталог новой продукции [электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://old.angstrom.ru/netcat\\_files/File/New%20Products/New%20Tech%202016.pdf](http://old.angstrom.ru/netcat_files/File/New%20Products/New%20Tech%202016.pdf).
3. Аналого-Цифровые интегральные схемы [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dcsoyuz.com/>.

**ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ  
ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТОВ ДВУХПУЧКОВЫХ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ**

В.О. Долгирев, Д.И. Дудник

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: [vital2@mail.ru](mailto:vital2@mail.ru)

**HOLOGRAPHIC FORMATION OF PHOTOPOLYMER DIFFRACTION OPTICAL ELEMENTS IN  
THE PROCESS OF TWO-BEAM INTERACTION**

V.O. Dolgirev, D.I. Dudnik

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

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

E-mail: [vital2@mail.ru](mailto:vital2@mail.ru)

***Abstract.** In this work the theoretical model of holographic formation of the diffraction optical element (DOE) in photopolymer material (FPM) allowing to transform Gaussian light fields to Bessel-like and considering self-diffraction of the writing light beams at low contrasts is presented. It is experimentally shown that influence of effect of self-diffraction in areas of low contrast leads to amplification of level of side's maxima at the diffracted light beam.*

**Введение.** Бесселевы пучки света все больше привлекают внимание ученых, благодаря своей способности распространяться на значительное расстояние без расходимости [1]. Данные пучки применяются в медицине, биомедицинской оптике, прецизионной химии, фармакологии и т.д. [2]. Таким образом, существует необходимость в поиске доступных методов формирования таких пучков. Одним из эффективных методов формирования ДОЭ является голографический, с использованием фоточувствительных сред [3, 4].

**Теоретическая часть.** Пусть на границу образца, содержащего плоский поглощающий фотополимерный слой толщиной  $d$ , падает два монохроматических световых пучка с амплитудными профилями  $E_0(r)$  (Гауссово распределение) и  $E_1(r)$  (Бесселеподобное распределение), волновыми векторами  $k'_0$  и  $k'_1$ , под углами  $\theta_0$  и  $\theta_1$  (рис. 1). Векторы  $k'_0$  и  $k'_1$  лежат в плоскости  $XOY$ , а ширина пучков намного превышает толщину  $d$ . Тогда оптическое поле на входной границе образца запишется как [5]:

$$E(t, r) = \sum_{j=0,1} e_j \cdot E_j \cdot \exp \left[ i \left( \omega \cdot t - k'_j \cdot r \right) \right], \quad 1)$$

где  $e_j$  – вектор поляризации;  $r$  – радиус-вектор;  $k'_j = k \cdot N_j$ ,  $k = n \cdot \omega / c$  – волновое число и  $N_j$  – нормаль к волновому фронту,  $n$  – показатель преломления.

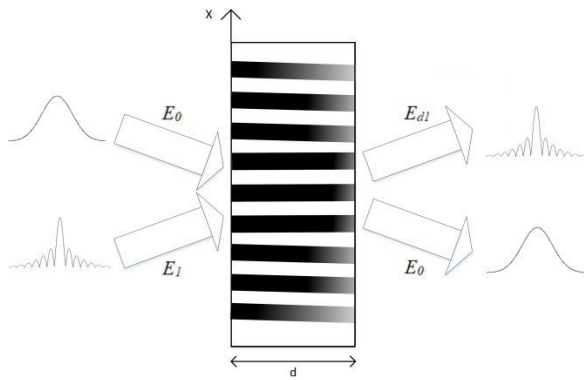


Рис. 1. Пространственная геометрия записи

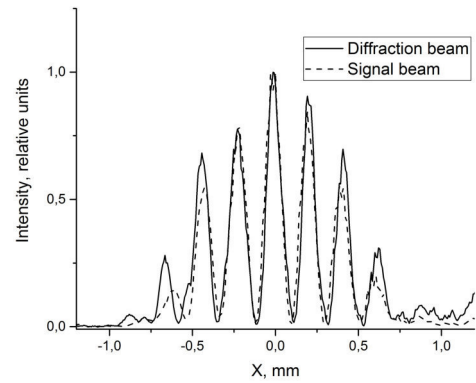


Рис. 2. Нормированный профиль сигнального ( $E_1$ ) и дифрагировавшего ( $E_{d1}$ ) световых пучков

Под действием дифракции записывающих световых пучков во время записи внутри образца с ФПМ происходит изменение распределение интенсивности  $I(t,r)$  записывающего поля, при этом самодифракция происходит лишь в областях малого контраста ( $< 0,1$ ). Формирование дифракционной решетки (ДР) в каждый момент времени продолжается в соответствии с измененным распределением светового поля, а в областях малого контраста под действием самодифракции формируется дополнительная решетка. Процесс голографического формирования дифракционной структуры (ДС) описывается в общем виде кинетическими уравнениями концентрации мономера  $M$  и показателя преломления  $n$  [5]. Решение системы кинетических уравнений представлено в работе [5], из которой следует выражение для амплитуды первой гармоники показателя преломления:

$$n_1(\tau, x, y) = \delta n_p F_2(x) \sqrt{m_0(x) \int_0^\tau R(\tau', x) H_0(\tau', \tau, x, y) d\tau'}, \quad (2)$$

где  $\tau = t/T_m$  – относительное время;  $T_m = 1/(K_1^2 D_m)$  – время диффузии;  $K_1 = |K_1|$  – волновое число

первой гармоники;  $D_m$  – начальное значение коэффициента диффузии;  $F_2(x) = \frac{2^k}{b_x} \cdot \frac{2k}{1+m_0(x)}$ ;

$b_x = b(x) = T_p(x)/T_m$ ;  $T_p(x) = h^{-1}/[I^0(x)]^2$  – локальное время полимеризации;  $h$  – коэффициент,

зависящий от параметров материала;  $I^0(x) = [I_0(x) + I_1(x)]$ ;  $I_j(x) = |E_j(x)|^2$ ;  $m_0(x) = I_1(x)/I_0(x)$  –

соотношение интенсивностей записывающих пучков;

$R(\tau', x) = \frac{M_0(\tau)}{M_n} - \left( \frac{2^k}{b_x} - C_n \right) \cdot \int_0^{\tau'} \frac{M_0(\tau'')}{M_n} \cdot e^{-\int_{\tau''}^{\tau'} F_1(\tau''') d\tau'''} d\tau''$ ;  $M_0(\tau)$  – концентрация мономера для нулевой

гармоники;  $M_n$  – начальная концентрация мономера;  $C_n = \delta n_i / \delta n_p$ ;  $\delta n_p$  и  $\delta n_i$  – параметры модели, характеризующие изменение  $n$  вследствие полимеризации и диффузии компонент материала;

$H_0(\tau', \tau, x, y) = 1 + \sqrt{\frac{i \cdot F_2(x) \cdot \Gamma}{y/d}} \cdot \int_{\tau'}^{\tau} R(\tau'') d\tau'' \cdot J_1 \left[ i \cdot F_2(x) \cdot \Gamma \cdot \frac{y}{d} \cdot \int_{\tau'}^{\tau} R(\tau''') d\tau''' \right]$ ;  $J_1[x]$  – функция Бесселя;

$F_1(\tau) = 2^k / b_x + b_m(\tau)$ ;  $\Gamma = \delta n_p \cdot G \cdot d = \omega \cdot d \cdot \delta n_p / 2 \cdot c \cdot \cos(\varphi_1)$  – нормализованный коэффициент связи, характеризующий эффективность взаимодействия световых волн с решеткой.

Полученное выражение (2) определяет временную динамику пространственного распределения амплитуды ДР с учетом самодифракции записывающих световых пучков. Из решения видно, что амплитудная неоднородность записывающих пучков по поперечной пространственной координате приводит к существенной зависимости времени полимеризации, что дает неоднородность амплитудного профиля решетки. Неоднородность фазового фронта приводит к изменению периода решетки, соответственно и времени диффузии, это обуславливает пространственную зависимость вдоль вектора решетки амплитуды записываемой ДР. Неоднородность фазового и амплитудного профиля решетки приводит к повороту эффективного вектора решетки ДС, и как следствие, смещение угла Брэгга при считывании, а также обмену энергии между пучками.

**Экспериментальная часть.** Влияние эффекта самодифракции экспериментально показано при голографическом формировании ДОЭ Бесселеподобным и Гауссовым световыми полями в ФПМ. На рис. 2 приведен нормированный профиль сигнального ( $E_1$ ) и дифрагировавшего ( $E_{d1}$ ) световых пучков. Из рис. 2 видно, что боковые максимумы у дифрагированного светового пучка усилены по уровню по сравнению с сигнальным световым пучком. При чем, эти изменения больше всего происходят в областях малых контрастов. Усиление уровня боковых максимумов достигает до 92 процентов. Это свидетельствует о влиянии эффекта самодифракции при голографическом формировании ДР в ФМП образце.

**Заключение.** Получен ДОЭ, позволяющий преобразовывать Гауссовы световые поля в Бесселеподобные. Для более точного определения дифракционных характеристик ДОЭ необходимо учитывать влияние эффекта самодифракции записывающих световых пучков. Экспериментально показано, что у дифрагировавшего светового пучка боковые максимумы усиливаются по уровню до 92 процентов, вследствие влияния самодифракции записывающих световых пучков.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки Российской Федерации в рамках проектной части Госзадания (Проект № 3.1110.2017/4.6).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Siviloglou G.A., Christodoulides D.N. Accelerating finite energy Airy beams // Optics Letters. – 2007. – Vol. 32, No. 8. – P. 979–981.
2. Duocastella M., Arnold C.B. Bessel and annular beams for materials processing // Laser Photonics Rev. – 2012. – Vol. 6, No. 5. – P. 607–621.
3. Казак А.А., Казак Л.А., Толстик А.Л., Мельникова Е.А. Дифракционные ЖК элементы для формирования вихревых световых полей // Вестник БГУ. Серия 1, Физика. Математика. Информатика. – 2011. – № 1. – С. 3–6.
4. Семкин А.О., Шарангович С.Н. Голографическое формирование дифракционных элементов для преобразования световых пучков в ФПМ-ЖК композициях // Известия вузов. Физика. – 2017. – Т. 60, № 11. – С. 109–115.
5. Довольнов Е.А., Шарангович С.Н. Голографическое формирование динамических дифракционных решеток пропускающего типа в фотополимерном материале при двухпучковом взаимодействии и малых контрастах // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2006. – Т. 49, № 11. – С. 35–43.

**РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ АНОДНОГО ЭЛЕКТРОДА СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ПРИ  
БОМБАРДИРОВКЕ ОБРАТНЫМ ИОННЫМ ПОТОКОМ В ФОРВАКУУМНОМ ИМПУЛЬСНОМ  
ИСТОЧНИКЕ ЭЛЕКТРОНОВ**

А.О. Терехин, А.С. Дыхова, А.В. Казаков

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.В. Медовник

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: [dyhovaanna7@gmail.com](mailto:dyhovaanna7@gmail.com)

**CALCULATION OF THE THERMAL FIELD ON THE ANODE ELECTRODE OF COMPLEX  
CONFIGURATION DURING BOMBARDING BY REVERSE ION FLOW IN A FOREVACUUM  
PULSE ELECTRON SOURCE**

A.O. Terehin, A.S. Dykhova, A.V. Kazakov

Scientific Supervisor: Docent, Candidate of Technical Sciences, A.V. Medovnik

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

E-mail: [dyhovaanna7@gmail.com](mailto:dyhovaanna7@gmail.com)

***Abstract.** This paper presents the dependences of temperature on time, accelerating voltage and ion current density for an anode electrode of complex configuration, obtained by using compiled physico-mathematical model.*

**Введение.** Форвакуумные источники электронов, главное преимущество которых – работа с диэлектриками, являются одним из направлений плазменно-пучковых технологий [1]. При их конструировании возникают проблемы с правильным выбором материалов и созданием эмиссионных узлов, а также с подбором режима работы. Решить эти проблемы можно при помощи моделирования.

Ранее нами была создана физико-математическая модель нагрева части прута анодной сетки, выполнен и программно реализован расчет ее теплового поля [2]. Для данной работы целью стал переход к модели более сложной конфигурации и расчет ее теплового поля.

**Описание выбранной модели.** В качестве прототипа моделирования был выбран источник электронов, состоящий из трех функциональных узлов – катод, анод и экстрактор. При включении источника между катодом и анодом образуется разрядная плазма. При подаче напряжения между экстрактором и разрядным промежутком (катод и анод) из разрядной плазмы эмитируются электроны, которые, в области транспортировки ускоренного электронного пучка, образуют пучковую плазму, на которой образуется обратный ионный поток, нагревающий анодную сетку. Более подробно с работой электронного источника можно познакомиться в работе [3].

Объектом моделирования была выбрана анодная сетка (рис. 1). Данный узел является одним из самых уязвимых элементов, поскольку подвержен плавлению, приводящему к выходу из строя. Причиной плавления является нагрев обратным ионным потоком.

Для расчета было использовано трехмерное уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial U}{\partial t} - a^2 \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) = f(x, y, z, t), \quad (1)$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности (табличное значение, для определенного материала);  
 $U = U(x, y, z, t)$  – функция, которая задает температуру в точке с координатами  $x, y, z$  в момент времени  $t$ ;  
 $f(x, y, z, t)$  – функция тепловых источников.

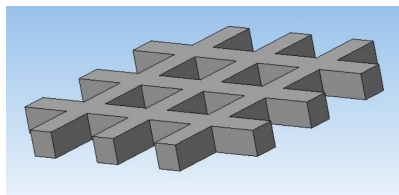


Рис. 1. 3D модель сетки

Описанное выше уравнение было решено численно с помощью метода конечных разностей. Данный метод позволяет представить исследуемый объект в виде набора точек (узлов) [4].

Также, необходимо учесть тепловое излучение, которое характеризуется энергетической светимостью:

$$R = \frac{P}{S} = \frac{Q}{St} = a\delta T^4. \quad (2)$$

Количество теплоты, в свою очередь, равно:

$$Q = cpV\Delta T, \quad (3)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость,  $p$  – плотность тела,  $V$  – объем тела,  $\Delta T$  – изменение температуры,  $a$  – степень черноты,  $T$  – абсолютная температура тела,  $\delta$  – постоянная Стефана-Больцмана.

Таким образом, изменение температуры тела будет равняться:

$$\Delta T = \frac{a\delta T^4 t}{cpl}. \quad (4)$$

**Результаты.** Ниже представлены графики зависимостей для модели сложной конфигурации.

Расчеты производились при следующих параметрах: материал – нержавеющая сталь; шаг дискретизации во времени – 1 мкс; длительность импульса – 1 мс; частота – 10 Гц; число импульсов – 10; плотность ионного тока – 500 А/м<sup>2</sup>; ускоряющее напряжение – 10 кВ; начальная температура – 300 К.

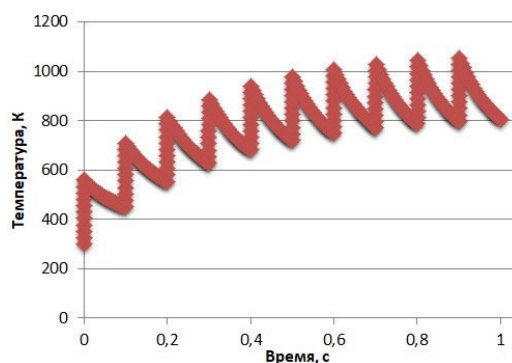


Рис. 2. График зависимости температуры от времени

На основании результатов, представленных на рисунке 2, можно заметить, что максимальная температура не превышает температуры плавления материала (температура плавления нержавеющей



стали равна 1380 К). Поэтому можно сделать вывод, что при данных параметрах, выход установки из строя в результате плавления сетки маловероятен.

На рисунках 3 и 4 представлены зависимости температуры от ускоряющего напряжения и плотности ионного тока. Можно заметить, что, как при увеличении ускоряющего напряжения (рис. 3), так и при увеличении плотности ионного тока (рис. 4), температура увеличивается линейно.



Рис. 3. График зависимости температуры от ускоряющего напряжения

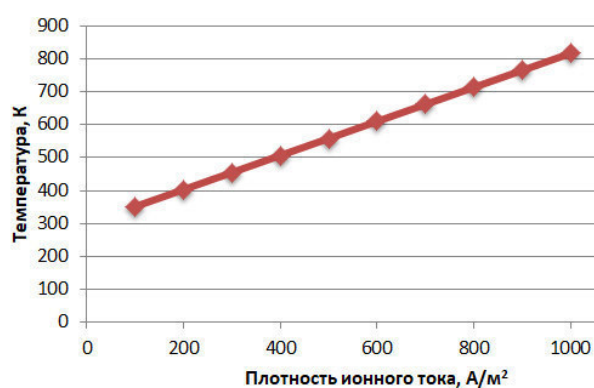


Рис. 4. График зависимости температуры от плотности ионного тока

**Заключение.** Была составлена физико-математическая модель для расчета теплового поля анодного электрода сложной конфигурации. С помощью программной реализации была получены зависимости температуры от времени, от ускоряющего напряжения, от плотности ионного тока и изменение температуры в течение одного импульса. Так же, был выявлен набор параметров, при котором установка работает стабильно, с малой вероятностью выхода из строя.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-38-20044 мол\_а\_вед.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков А.В., Климов А.С., Смаилов А.С., Медовник А.В., Юшков Ю.Г., Бакеев И.Ю. Модификация поверхности полимерных материалов импульсным электронным пучком // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 4 (30). – С. 75–78.
2. Баранов Д.А., Терехин А.О., Дыхова А.С. Расчет теплового поля участка эмиссионного электрода при бомбардировке обратным ионным потоком в форвакуумном импульсном источнике электронов // XV Международная конференция студентов, аспирантов, молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – Томск, 2018. – Т. 7. – С. 24–26.
3. Бурдовицин В.А., Жирков И.С., Окс Е.М., Осипов И.В. Источник электронов с плазменным катодом для генерации сфокусированного пучка в форвакуумном диапазоне давлений // ПТЭ. – 2005. – № 6. – С. 66–68.
4. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование - идеи, методы, примеры. М.: Физматлит, 2001. – 319 с.

**ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ ТГС ДЛЯ ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ**

А.Я. Жамус, Д.М. Ежов

Научный руководитель: доцент, канд. физ.-мат. наук В.А. Светличный

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

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

E-mail: [ammarjamous2@gmail.com](mailto:ammarjamous2@gmail.com)

**CHARACTRIZATION OF SINGLE CRYSTAL TGS FOR NONLINEAR OPTICS APPLICATIONS**

A.Y. Jamous, D.M. Ezhov

Scientific Supervisor: associate professor, Ph.D. V.A. Svetlichnyi

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

E-mail: [ammarjamous2@gmail.com](mailto:ammarjamous2@gmail.com)

***Abstract.** In the present work, the structural and optical properties of pure TGS crystals are reported. Lattices parameters were calculated using X-ray analyze. Curie point  $T_c$  was determined using DSC. The energy band gap was evaluated as a  $\sim 5.5$  eV, from transmittance spectra, which were obtained for UV-Visible and IR region. Transient absorption spectrum of TGS was investigated by nanosecond pump-probe method in wavelengths range of 360-600 nm. Comparative study of second harmonic generation between powders of TGS crystal and KDP nonlinear crystal was also carried out.*

**Введение.** Задача поиска новых материалов для нелинейно-оптических (НЛО) применений остаётся актуальной в настоящее время. Как известно, НЛО материалы должно удовлетворять нескольким условиям: они должны быть нецентросимметричными, оптически-прозрачными в используемом диапазоне длин волн, должны обладать двулучепреломлением, быть физически и химически стабильными, и, что немаловажно, необходимо наличие хотя бы потенциальной возможности выращивания высокочистых объёмных монокристаллов [1]. В последние годы в нелинейной оптике возрастает интерес к органическим кристаллам и другим материалам, которые успешно используются в смежных областях физики и для которых хорошо отработаны технологические процессы. К таким материалам относятся, например, кристаллы на основе триглицинсульфата.

Чистые и допированные различными химическими элементами кристаллы семейства триглицинсульфата (ТГС) – сегнетоэлектрики, известные, как ИК детекторы, работающий при комнатной температуре. Ниже температуры Кюри  $T_c$ , ТГС принадлежит к полярной пространственной группе  $P2_1$  (моноклинная сингония, класс 2), выше  $T_c$  (около 49 °С) происходит фазовый переход второго рода и кристалл переходит в центросимметричную форму, относящуюся к пространственной группе  $P2_1/m$  (класс симметрии  $2/m$ ). [2] То есть, ниже температуры  $T_c$ , кристаллы данного семейства могут быть использованы для НЛО преобразований с фазовым синхронизмом. Однако, как преобразователь частоты излучения, данный материал изучен слабо, литературных данных о преобразовании фемтосекундного излучения не представлено, а имеющиеся данные, касающиеся, в том числе генерации второй гармоники (ГВГ) [3], не позволяют легко оценить эффективность преобразования в сравнении с широко применяемыми в настоящее время материалами.

Данная работа посвящена определению структуры кристалла и оптических свойств кристаллов ТГС в широком оптическом диапазоне, а также сравнительному изучению его НЛО свойств при мощном лазерном возбуждении, в сравнении с хорошо известным кристаллом дигридрофосфата калия (KDP).

**Экспериментальная часть.** В качестве исходного материала был использован объёмный кристалл ТГС с неустановленным примесным содержанием. Таким образом, первоочередной задачей для исследования являлось установление качественного и количественного состава исследуемого образца. С помощью рентгеновского дифрактометра XRD 6000 (Shimadzu, Япония) был проведён рентгенофазовый анализ порошка кристалла. Параметры ячейки рассчитывались из результатов рентгенофазового анализа для  $\beta = 105^\circ$  и  $\beta = 110^\circ$  [4]. Затем, имея подтверждение структуры кристалла, как ТГС, были зарегистрированы спектры комбинационного рассеяния. С помощью микроскопа inVia BASIS (Renishaw, Великобритания), при возбуждении лазером с длиной волны 785 нм, были исследованы как монокристаллический образец с размерами  $10 \times 10 \times 5$  мм, так и порошковый образец ТГС.

Температура фазового перехода определялась методом дифференциальной сканирующей калориметрии, с помощью DSC 204 F1 PHONIX (Netzsch-Geratebau GmbH, Германия), для цилиндра ТГС с диаметром 5,5 мм и толщиной 2 мм.

Для определения ширины запрещённой зоны и области оптической прозрачности, при помощи спектрофотометра Cary 5000 (Varian, Австралия), были зарегистрированы спектры поглощения специально подготовленных образцов ТГС.

Также, с помощью подготовленного объёмного образца были исследованы спектры нестационарного поглощения методом накачка-зонд на установке, описанной в [5]. В качестве возбуждающего лазера использована четвёртая гармоника Nd:YAG лазера LS-2132UTF (LOTIS ТП, Беларусь) ( $\lambda = 266$  нм,  $t = 7$  нс,  $\nu = 1,5$  Гц), для зондирования использовалась смесь красителей p-terphenyl, PPO, C120, C151, C153, что позволило перекрыть спектральный диапазон 360–600 нм.

Нелинейное преобразование частоты лазерного излучения исследовалось без ориентации кристаллов на специально подготовленных и фракционированных порошковых образцах ТГС по модифицированной схеме Куртца – Перри [6] в сравнении с порошком KDP.

**Результаты.** Параметры ячейки для  $\beta = 105^\circ$ :  $a = 9,1596$  Å,  $b = 12,6331$  Å и  $c = 5,7435$  Å и  $\beta = 110^\circ$ :  $a = 9,4153$  Å,  $b = 12,6331$  Å и  $c = 5,9038$  Å, полученные из результатов рентгенофазового анализа, соответствуют литературным данным для чистого кристалла ТГС. Полученные спектры рентгеновской дифракции и комбинационного рассеяния (КР) света приведены на рис. 1, а и б, соответственно.

Приведённые на рис. 1б, спектры комбинационного рассеяния хорошо согласуются с приведёнными в литературе и также соответствует чистому ТГС [2, 4]. Фазовый переход (точка Кюри) происходит при температуре  $48^\circ\text{C}$ . Полученные спектры поглощения кристалла в широком спектральном диапазоне позволили дать оценку ширины запрещённой зоны ( $\sim 5,5$  эВ) из края полосы поглощения в приближении прямозонного полупроводника, а также определить область прозрачности для ТГС, где отсутствуют пики поглощения, как диапазон 300–1500 нм.

Исследования нестационарного поглощения показало отсутствие интенсивного наведённого поглощения в кристалле во всём исследуемом диапазоне 360–600 нм. Предварительный порошковый тест ГВГ наносекундного излучения Nd:YAG лазера (1064 нм) показал более низкую эффективность преобразования в чистом ТГС по сравнению с KDP.

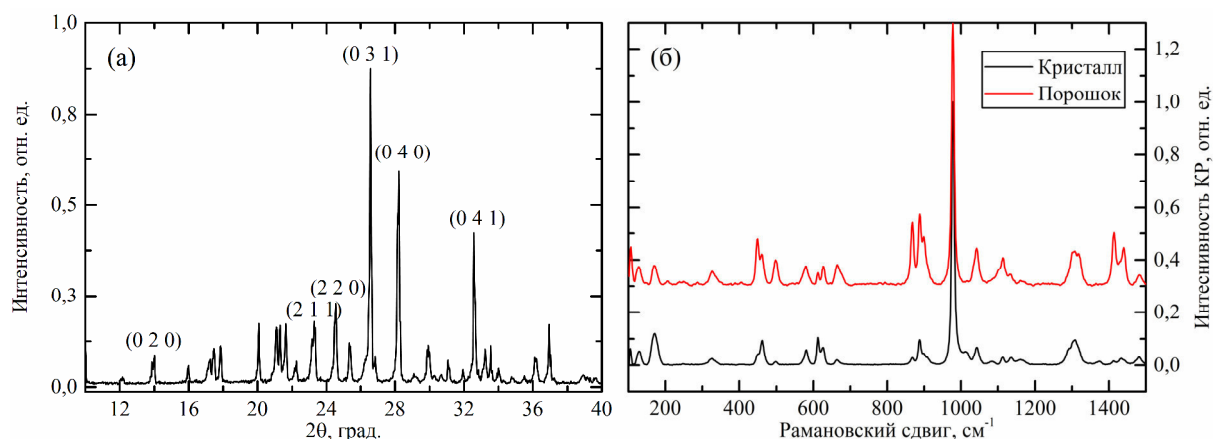


Рис. 1. Структурные параметры ТГС: а) диаграмма XRD б) спектры КР

**Закключение.** В результате проведённых исследований было показано, что кристалл ТГС может быть пригодным для НЛО применений в диапазоне длин волн 300–1500 нм, низкая эффективность ГВГ может быть нивелирована высокой чувствительностью используемого оборудования, а точка юри вблизи комнатной температуры, позволяет исследовать температурно-зависимые НЛО процессы. Отсутствие интенсивной флуоресценции и нестационарного поглощения в видимой области позволяют исследовать двухфотонное поглощение ТГС без влияния поглощения из возбуждённых состояний в диапазоне 720–1200 нм, а также делают его перспективным для преобразования частоты вверх вплоть до 360 нм.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Halasyamani P.S., Zhang W.Z. Viewpoint: Inorganic Materials for UV and Deep-UV Nonlinear-Optical Applications // *Inorganic Chemistry*. – 2017. – V. 56, No. 20. – P. 12077–12085.
2. Kartheeswari N., Viswanathan K. IR and Raman Spectral Studies of Pure and Doped TGSZC Crystals // *Elixir Crystal Growth*. – 2013. – V. 60. – P. 16194–16202.
3. Suvorov V.S, Sonin A.S. Second Harmonic Generation in Triglycine sulfate crystals // *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* – 1967. – V. 54. – P. 1044–1050.
4. Logeswari J. Synthesis and dielectric studies on pure and doped Triglycine Sulphate single crystals for laser applications // *Optoelectronics and Advanced Materials Rapid Communications*. – 2008. – V. 2, №. 10. – P. 630-634.
5. Светличный В.А. Установка для исследования спектров поглощения красителя в возбуждённых состояниях методом накачка зонд с флуоресцентным зондом // *Приборы и техника эксперимента*. – 2010. – №. 4. – С. 117–123.
6. Ezhov D.M., et al. SHG in  $\gamma$ -Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub> powder // *Proceedings of SPIE: XIII International Conference on Atomic and Molecular Pulsed Lasers*. – Tomsk, 2018. – P. 10614–10620.

**МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО  
КОРПУСА С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЗАПОЛНЕНИЕМ**

А.А. Иванов

Научный руководитель: доцент, к.т.н. М.Е. Комнатнов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: [anton.ivvv@gmail.com](mailto:anton.ivvv@gmail.com)

**MODEL FOR ESTIMATING OF THE SHIELDING EFFECTIVENESS OF A CYLINDRICAL  
ENCLOSURE WITH DIELECTRIC FILLING**

A.A. Ivanov

Scientific Supervisor: assistant professor, Ph.D., M.E. Komnatnov

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

E-mail: [anton.ivvv@gmail.com](mailto:anton.ivvv@gmail.com)

***Abstract.** An analytical model for estimating of the shielding effectiveness of a cylindrical enclosure with an aperture has been developed. Full or partial dielectric filling can be located inside the enclosure. The presented model is compared with electrostatics modeling and the results show good agreement.*

**Введение.** Электромагнитное экранирование является одним из конструкторских средств обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры. Для экранирования межсоединений кабельных сборок применяют металлические корпуса, в том числе, широко используются соединители с цилиндрическим корпусом, заполненным диэлектриком. Наличие диэлектрика и относительно небольшие размеры корпуса затрудняют измерения эффективности экранирования (ЭЭ) соединителей, поэтому для решения этой задачи применяют численные и аналитические методы. Оценка ЭЭ при помощи численных методов [1] обеспечивает достаточную точность вычислений, однако требует существенных вычислительных затрат. Поскольку диапазон рабочих частот соединителей зачастую находится ниже резонансных частот самого корпуса, определяющихся его геометрией, то вычисления ЭЭ с учетом высших типов волн применяется в редких случаях и могут быть выполнены аналитическими методами. Существующие аналитические модели прямоугольного [2] и цилиндрического [3] корпусов не учитывают наличие диэлектрического заполнения. Однако оценка ЭЭ соединителей должна быть выполнена учетом диэлектрической проницаемости, которая оказывает влияние на фазовую скорость электромагнитной волны (ЭМВ). Целью данной работы является разработка аналитической модели для оценки ЭЭ цилиндрического корпуса с апертурой в торцевой стенке при его полном или частичном диэлектрическом заполнении.

**Аналитическая модель цилиндрического корпуса.** Согласно [2, 3] корпус с апертурой (рис. 1) может быть заменен эквивалентной схемой, по которой вычисляется ЭЭ. Воздействие задается в виде источника ЭДС  $V_0$  с внутренним сопротивлением  $Z_0 = 120\pi$  Ом.

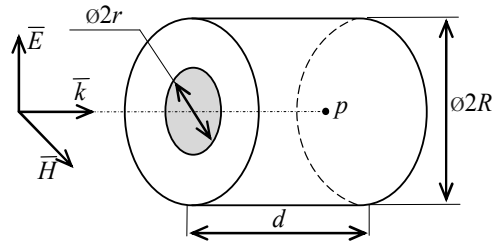


Рис. 1. Геометрическая модель цилиндрического корпуса с апертурой

Сопротивление торцевой стенки с круглой апертурой в зависимости от частоты  $f$  источника воздействия может быть вычислено как

$$Z_{ap} = jZ_{0s} \frac{r\sqrt{\pi}}{4R} \operatorname{tg} \left( \pi f \frac{r\sqrt{\pi}}{c} \right), \quad (1)$$

где

$$Z_{0s} = 120\pi^2 \left[ \ln \left( \frac{2 + \sqrt{1 - (w_e/2R)^2}}{1 - \sqrt{1 - (w_e/2R)^2}} \right) \right]^{-1}, \quad (2)$$

$w_e = r\sqrt{\pi} - 5t \left[ 1 + \ln(4\pi r\sqrt{\pi}/t) \right] / 4\pi$ ,  $t$  – толщина торцевой стенки,  $R$  и  $r$  – радиусы корпуса и апертуры. Выражения (1, 2) получены из [2, 3] при условии равенства площадей прямоугольной и круглой апертур.

При наличии в корпусе диэлектрика волновое сопротивление и постоянная распространения, в соответствии с [4], определяются как

$$Z_g = Z_0 \left[ \sqrt{1 - (\lambda'/\lambda_{kp})^2} \sqrt{\epsilon_r} \right]^{-1},$$

$$k_g = k'_0 \cdot \sqrt{1 - (\lambda'/\lambda_{kp})^2},$$

где  $\lambda_{kp}$  – критическая длина волны, которая, при условии режима возбуждения волн типа  $TE_{mn}$ , может быть вычислена как  $\lambda_{kp} = 2\pi R / \eta_{mn}$  ( $\eta_{mn}$  –  $n$ -й корень уравнения  $J'_m(\alpha_{m,n}) = 0$  и  $J_m(\alpha_{m,n})$  – функция Бесселя  $m$ -го порядка). Эффективная комплексная диэлектрическая проницаемость, с учетом проводимости  $\sigma$ , согласно [5], определяется как  $\epsilon_r = \epsilon' + \epsilon'' = \epsilon' + j\sigma / (2\pi f \epsilon_0)$ . При этом, в однородной диэлектрической среде  $\lambda' = \lambda / \sqrt{\epsilon_r}$  и коэффициент фазы  $k'_0$  будет равен  $2\pi\sqrt{\epsilon_r} / \lambda$  [4].

Разработанная эквивалентная схема корпуса с учетом диэлектрического заполнения показана на рис. 2. Последующие вычисления выполняются путем ее преобразования в соответствии с теоремой Тевенина для получения напряжения  $V_p$  в точке наблюдения  $p$ , а ЭЭ может быть вычислена как

$$SE = -20 \lg |2V_p / V_0|.$$

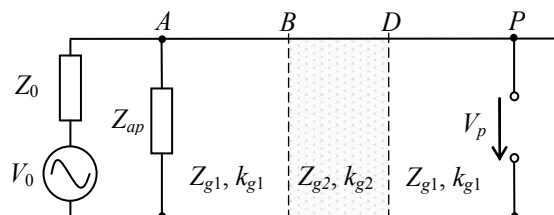


Рис. 2. Эквивалентная схема корпуса с диэлектрическим заполнением



**Тестирование модели.** Выполнены вычисления ЭЭ в центре цилиндрического корпуса  $R = 150$  мм длиной  $d = 300$  мм в диапазоне 1–1000 МГц при условии возбуждения волн  $TE_{11}$  ( $\eta_{mn} = 1,841$ ). Рассмотрены два случая: корпус с раскрытой торцевой стенкой и полным диэлектрическим заполнением ( $\epsilon = 3,72$ ), а также корпус с апертурой  $r = 40$  мм и частичным диэлектрическим заполнением (треть корпуса). Полученные частотные зависимости показаны на рис. 3, где также приведены результаты электродинамического моделирования. Видно, что результаты согласуются, средние абсолютные погрешности составляют 3,122 дБ для частотных зависимостей на рис. 3а и 2,882 дБ – на рис. 3б.

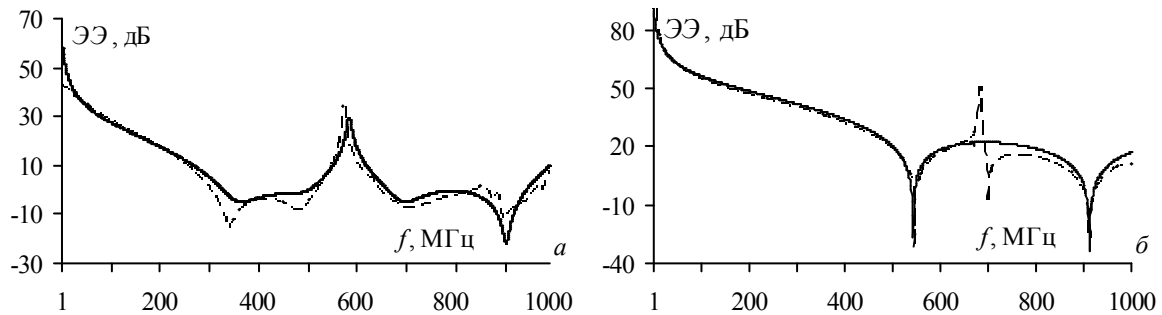


Рис. 3. Результаты вычисления (—) и электродинамического моделирования (---) ЭЭ цилиндрического корпуса с полным (а) и частичным (б) диэлектрическим заполнением

**Заключение.** Разработана аналитическая модель для оценки ЭЭ цилиндрического корпуса с апертурой в торцевой стенке при его полном или частичном диэлектрическом заполнении. Показано хорошее согласование результатов электродинамического моделирования и предложенной модели. Результаты данного исследования могут быть полезны при вычислении ЭЭ кабельных сборок, а также для разработки новых подходов к вычислению ЭЭ типовых экранирующих структур.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fedeli D. et al. Evaluation of equipment-level enclosure shielding properties in a reverberation chamber: Numerical and experimental analysis // IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat. – USA, Detroit, 2008. – P. 1–6.
2. Robinson M.P. et al. Analytical formulation for the shielding effectiveness of enclosures with apertures // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 1998. – Vol. 40, No. 3. – P. 240–248.
3. Wang Y. et al. The analysis of multi-mode cylindrical enclosure shielding effectiveness with apertures // Int. Conf. on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (ICCMCEE). – China, Changchun, 2010. – Vol. 3. – P 527–530.
4. Замотринский В.А., Шангина Л.И. Устройства СВЧ и антенны. Часть 1. Устройства СВЧ: Учебное пособие. – Томск: Томский университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 222 с.
5. Гусев Ю.А. Основы диэлектрической спектроскопии: Учебное пособие. – Казань: Казанский государственный университет, 2008. – 112 с.

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО СВЕТЛОГО  
ПРОСТРАНСТВЕННОГО СОЛИТОНА В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ НИОБАТЕ ЛИТИЯ  
С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА**

Н.А. Иванченко, М.Н. Гаппарова, Д.К. Романенко

Научный руководитель: доцент каф. СВЧиКР, к.т.н. А.С. Перин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

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

E-mail: [IvanchenkoNikita98@gmail.com](mailto:IvanchenkoNikita98@gmail.com)

**THEORETICAL MODEL OF THE FORMATION OF OPTICAL BRIGHT SPATIAL SOLITON  
IN PHOTOREFRACTIVE LITHIUM NIOBATE CRYSTAL DUE PYROELECTRIC EFFECT**

N.A. Ivanchenko, M.N. Gapparova, D.K. Romanenko

Scientific Supervisor: candidate of technical sciences A.S. Perin

Tomsk state university of control system and radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: [IvanchenkoNikita98@gmail.com](mailto:IvanchenkoNikita98@gmail.com)

**Abstract.** *In this research, we presented result of mathematics modeling of the formation of optical bright spatial soliton in photorefractive lithium niobate crystal with accounting influence pyroelectric effect.*

**Введение.** При распространении оптических пучков в фоторефрактивном кристалле, распределение фотовозбужденных зарядов индуцирует электрическое поле пространственного заряда  $E_{phsc}$ . В случае, когда к кристаллу приложено внешнее поле постоянного тока, управление им позволяет модулировать показатель преломления среды таким образом, что световой пучок будет локально самозахватываться при условии увеличения показателя преломления и может распространяться как пространственный оптический солитон [1]. С другой стороны, в состоянии равновесия внутреннее электрическое поле кристалла ниобата лития компенсируется зарядами, существующими на гранях образца [2]. В случае колебания температуры происходит возникновение спонтанной поляризации, что приводит к возникновению пироэлектрического поля  $E_{pysc}$  [3-4]. Возникшее поле пространственного заряда имеет инерционный характер, следовательно, ток дрейфа может быть установлен так, как если бы к кристаллу прикладывалось внешнее напряжение. Это поле может экранироваться при освещении локальной области кристалла лазерным излучением, и с учетом поля пространственного заряда, формируемого за счет фоторефрактивного эффекта возможно реализовать солитонный режим распространения световых пучков [4-5].

Целью данной работы является разработка теоретической модели формирования оптического светлого пространственного солитона в фоторефрактивном кристалле ниобата лития с учетом вклада пироэлектрического эффекта

**Теоретическая часть.** В работе был рассмотрен когерентный лазерный пучок, который распространялся вдоль направления оси  $Z$ . Оптическая ось кристалла ниобата лития совпадает с осью  $X$ . Поле распространяющегося пучка представим в виде:

$$E = x_0 A_1(x, z) \exp(ikz), \quad (1)$$

где  $\mathbf{k} = k_0 n_e$ ,  $n_e$  – необыкновенный показатель преломления,  $k_0$  – волновое число. Поле  $\mathbf{E}$  должно удовлетворять уравнению Гельмгольца:

$$\nabla^2 \mathbf{E} + (k_0 n_e')^2 \mathbf{E} = 0 \quad (2)$$

Подставляя выражение  $E$  в (3), получим [2]:

$$\left( i \frac{\partial}{\partial z} + \frac{1}{2k} \cdot \frac{k}{n_e} \Delta n \right) A_j(x, z) = 0, \quad (3)$$

где  $\Delta n$  – возмущение показателя преломления среды, определяемое как  $\Delta n = -\frac{1}{2} n_e^3 r_{eff} E_{sc}$  [2]. Здесь  $E_{sc}$  – поле пространственного заряда в среде,  $r_{eff}$  – электрооптический коэффициент.

В случае учета пьезоэлектрического эффекта поле (4) будет включать в себя две части, одна из которых представляет собой поле пространственного заряда  $E_{phsc}$  (5), формируемое за счет проявления фоторефрактивного эффекта (при фотовольтаическом механизме транспорта носителей заряда), а другая – поле пространственного заряда  $E_{pysc}$  (7), обусловленное пьезоэлектрическим эффектом [3]:

$$E_{sc} = E_{phsc} + E_{pysc} \quad (4)$$

$$E_{phsc} = -E_{ph} \frac{I}{I+I_d}, \quad (5)$$

где  $I$  – интенсивность лазерного пучка,  $I_d$  – темновая интенсивность,  $E_{ph}$  – фотовольтаическое поле.

$$E_{pysc} = E_{py} \frac{\sigma_{ph}}{\epsilon_0 \epsilon_r} \approx E_{py} \frac{\sigma I}{I_d}, \quad (6)$$

где  $E_{py} = -\frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r} p \Delta T$  – пьезоэлектрическое поле, возникающие при изменении температуры,  $p = \frac{\partial P_s}{\partial T}$  – пьезоэлектрический коэффициент,  $P_s$  – спонтанная поляризация,  $\Delta T$  – изменение температуры,  $\sigma_{ph}$  – фотопроводимость,  $\epsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость в вакууме,  $\epsilon_r$  – диэлектрическая проницаемость материала,  $\sigma$  – удельная проводимость кристалла. Примем  $\frac{\sigma I}{I_d} < 1$ .

Подставляя (5) и (6) в (4), получим:

$$E_{sc} \approx -E_{ph} \frac{I}{I+I_d} + E_{py} \frac{\sigma I}{I_d} \quad (7)$$

Далее, подставляя выражения (7) в (3), мы получим:

$$I = \frac{n_e}{2\eta_0} (|A_1|^2), \quad (8)$$

где  $\eta_0 = \left( \frac{\mu_0}{\epsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}}$ ,  $A_1 = \left( \frac{2\eta_0 I_d}{n_e} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot U$ ,

тогда:

$$iU_\xi + \frac{1}{2} U_{ss} + \beta (|U+V|^2)U + \frac{\alpha (|U+V|^2)}{(1+|U+V|^2)} U = 0, \quad (9)$$

где  $\xi = \frac{z}{kx_0^2}$ ,  $s = \frac{x}{x_0}$ ,  $U_\xi = \frac{\partial U}{\partial \xi}$ ,  $U_{ss} = \frac{\partial^2 U}{\partial s^2}$ ,  $\beta = \sigma \tau E_{py}$ ,  $\alpha = \tau E_{ph}$ ,  $\tau = \frac{(k_0 x_0)^2 n_e^4 r_{eff}}{2}$ .

В случае светлого солитона выражение (9) решается как:

$$U = \sqrt{r_1} f(s) \exp(i\mu \xi + \varphi), \quad (10)$$

где  $r = \frac{I_{max}}{I_d}$ ,  $I_{max} = I(0)$  – максимальная интенсивность солитонного пучка,  $I_d$  – темная интенсивность излучения,  $f(s)$  – нормализованная ограниченная функция, которая удовлетворяет условию  $0 \leq f(s) \leq 1$  и граничным условиям  $f(\pm\infty) = 0$ ,  $f'(0) = 0$ ,  $f'(\pm\infty) = 0$ ,  $f''(\pm\infty) = 0$ ,  $f(0) = 1$ . Путем математических преобразований получим выражение (11):

$$S = \pm \int_f^1 \frac{df}{\left[ \beta r f^2 (1-f^2) + \frac{2\alpha}{r} (\log(1+rf^2) - f^2 \log(1+r)) \right]^{1/2}} \quad (11)$$

По выражению (11) строим зависимость интенсивности от параметра  $S$  при следующих значениях:  $\lambda=0,532$  мкм,  $E_{ph}=-1,9 \cdot 10^6$  В/м,  $E_{py}=4,7 \cdot 10^6$  В/м,  $\alpha=37,28$ ,  $\beta=46,07$ .

**Результаты.** Рассмотрим два случая распространения волны: По обыкновенному ( $r_1=30,8$ ) и необыкновенному ( $r_2=8,6$ ) показателю преломления. Результаты моделирования представлены на рисунке 1.

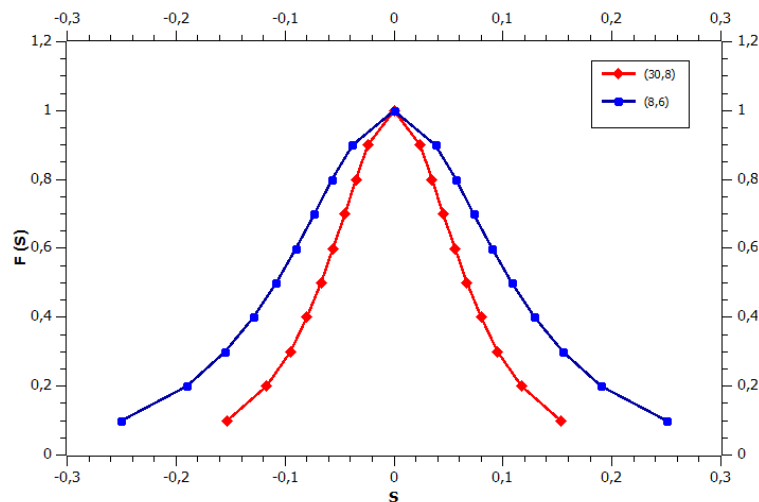


Рис. 1. График зависимости функции  $F(S)$  от  $S$  при разных значениях тензора электрооптического эффекта ( $r_1=30,8$ ;  $r_2=8,6$ )

**Заключение.** Таким образом, в работе получено выражение, описывающее модель формирования оптического светлого солитона в фоторефрактивной среде с учетом вклада пьезоэлектрического эффекта. Из графика зависимости функции  $F(S)$  от  $S$  видно, что при одинаковых значениях пьезоэлектрического и фотовольтаического поля, ширина оптического солитона для необыкновенного и обыкновенного показателя преломления отличаются.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки в рамках проектной части Госзадания (№ 3.1110.2017/ПЧ), РФФИ и администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-42-703018.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Krolikowski, W. et al. Interaction of spatial photorefractive solitons // Quantum and Semiclassical Optics: Journal of the European Optical Society Part B. – 1998. – Vol. 10, No. 6. – P. 823.
2. Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко, А.В. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. – С.Пб.: Наука, 1992. – 320 с.
3. Buse K., Pankrath R., Kratzig E. Pyroelectrically induced photorefractive effect in:  $Sr_{0,61} Ba_{0,39} Nb_2 O_6: Ce$  // Optics letters. – 1994. – Vol. 19, No. 4. – P. 260–262.
4. Safioui J., Devaux F., Chauvet M. Pyroliton: pyroelectric spatial soliton // Optics Express. – 2009. Vol. 17, No. 24. – P. 209-216.
5. Jiang, Q., Su Y., Xuanmang J. Pyroelectric photovoltaic spatial solitons in unbiased photorefractive crystals // Physics Letters A. – 2012. – Vol. 376, No. 45. – P. 3085–3087.

**ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ  
С ТЕРМАЛЬНО АКТИВИРОВАННОЙ ЗАМЕДЛЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИЕЙ В OLED**

Н.В. Измайлова, А.В. Одод

Научный руководитель: доцент, канд. физ.-мат. наук Л.Г. Самсонова  
Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050  
E-mail: [izmailova.sfti@gmail.com](mailto:izmailova.sfti@gmail.com)

**ELECTROLUMINESCENCE OF ORGANIC COMPOUNDS WITH THERMALLY ACTIVATED  
DELAYED FLUORESCENCE IN OLED**

N.V. Izmailova, A.V. Odod

Scientific Supervisor: associate professor, Ph.D. L.G. Samsonova  
Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin ave., 36, 634050  
E-mail: [izmailova.sfti@gmail.com](mailto:izmailova.sfti@gmail.com)

***Abstract.** OLED structures based on new organic compounds L1 and L2 synthesized at the Institute of chemical physics of the Russian Academy of Sciences (Chernogolovka): 2,8-bis[N,N-di(4-tert-butylphenyl) amino] dibenzothiophene-S,S-dioxide (L1); 2,8-bis[N,N-di(4-methoxyphenyl)amino]dibenzothiophene-S,S-dioxide (L2) were fabricated. Their volt-ampere, volt-brightness and spectral characteristics are investigated.*

**Введение.** Одной из важнейших характеристик органических светоизлучающих диодов (англ. organic light-emitting diode - OLED) является их внешняя эффективность, которая является произведением нескольких составляющих: эффективности выхода светового потока электролюминесценции из OLED-структуры вовне  $\chi$ , коэффициента баланса между количеством инжектированных электронов и дырок в органический слой  $\gamma$ , эффективности генерации экситонов  $\beta$  и квантового выхода люминесценции  $\phi$ . Первые две составляющие  $\chi$  и  $\gamma$  зависят от конструкции OLED, в то время как  $\beta$  и  $\phi$  определяются процессами рекомбинации зарядов и фотофизическими процессами в излучающем материале [1]. В OLED можно использовать фосфоресцентные и флуоресцентные материалы, различающиеся принципом светоизлучения. В случае флуоресцентных материалов рекомбинация, сопровождающаяся излучением света, происходит только при переходе синглетного экситона в основное состояние. Ранее было принято считать, что максимальная квантовая эффективность флуоресцентных материалов равна 25%, но в недавнем времени были предложены материалы, излучение которых идет из синглетных состояний, но при этом происходит заимствование возбуждения из триплетного канала [2]. Процесс заимствования осуществляется за счет того, что триплетные уровни располагаются очень близко к  $S_1$  уровню, энергетическая щель обычно составляет не более  $1000 \text{ см}^{-1}$ , а преодоление разницы энергий осуществляется за счет термической активации. Такое излучение носит название термически активированной замедленной флуоресценции (TADF). Целью данной работы является изучение спектральных свойств, электролюминесценции новых соединений с термально активированной замедленной флуоресценцией.

**Экспериментальная часть.** Объектами исследования в работе являлись соединения синтезированные в институте проблем химической физики РАН (г. Черноголовка): 2,8-бис[N,N-ди(4-метоксифенил)амино]дибензотиофен-S,S-диоксид (шифр L1); 2-N,2-N,8-N-тетракис(4-метоксифенил) - (дибензотиофен-5,5-диоксид)-2,8-диамин (шифр L2).

Для оценки величины энергетической щели  $\Delta E(S_1-T_1)$ , проводилось измерение максимумов фотолюминесценции и фосфоресценции соединений в пленках, полученных термовакuumным осаждением (ТВО) при температуре 77 К на спектрофлуориметре Carry Eclipse (Intertech Corporation) с приставкой – криостатом.

Образцы OLED для исследования электролюминесцентных свойств готовились одинаковые по структуре, но с различными эмиссионными слоями (L1 и L2): ITO/PEDOT:PSS/NPD/L1/BSP/LiF/Al (образец 1) и ITO/PEDOT:PSS/NPD/L2/BSP/LiF/Al (образец 2). Нанесение слоев на подготовленную подложку проводилось в перчаточном боксе DELLIX (Китай) в атмосфере сухого азота. Для регистрации вольт-амперных характеристик (ВАХ) использовался источник постоянного напряжения, позволяющий подавать напряжение от 0 до 50 В. Ток, проходящий через устройство, регистрировался измерителем тока и через микроконтроллер поступал обратно на компьютер. Одновременно с измерением ВАХ проводилась автоматическая регистрация вольт-яркостных характеристик (ВЯХ).

Методом переходной электролюминесценции оценивались время выхода на максимум интенсивности излучения при подаче импульса напряжения на образец, и время затухания излучения при снятии напряжения.

**Результаты.** Положение максимумов флуоресценции, фосфоресценции, квантовый выход флуоресценции и величина энергетической щели  $\Delta E(S_1-T_1)$  для соединений L1 и L2 представлены в таблице 1. Из таблицы 1 видно, что значение  $\Delta E(S_1-T_1)$  для L2 почти в 2 раза меньше, чем для L1. Этот результат говорит о том, что вероятность перехода из  $T_1$  в  $S_1$ , и, следовательно, вклад замедленной флуоресценции в суммарную люминесценцию у соединения L2 выше, чем у L1.

Таблица 1

Максимумы полос флуоресценции и фосфоресценции при 77 К в пленке ТВО. Величина энергетической щели  $\Delta S_1-T_1$ , квантовый выход люминесценции  $\gamma_{fl}$

Соединения	$\lambda_{\text{флуор.}}, \text{ нм}$ ( $\nu_{\text{фл.}}, \text{ см}^{-1}$ )	$\lambda_{\text{фосфор.}}, \text{ нм}$ ( $\nu_{\text{фосфор.}}, \text{ см}^{-1}$ )	$\Delta E(S_1-T_1), \text{ см}^{-1} (\text{эВ})$	$\gamma_{fl}$
L1	483 (20700)	534 (18720)	1980 (0,24)	0,83
L2	520 (19230)	556 (17985)	1245 (0,15)	0,24

Электролюминесцентные характеристики структур на основе соединений L1 и L2 представлены в таблице 2. Образец 2 имеет более высокие характеристики яркости свечения и эффективность по току, чем образец 1, что обусловлено, очевидно, вкладом механизма замедленной флуоресценции.

Методом переходной электролюминесценции получены кривые разгорания и затухания излучения созданных OLED структур (рис. 1). Из них следует, что:



а) время разгорания электролюминесценции образца 2 при подаче напряжения на электроды OLED больше, чем в образце 1, что обусловлено более низким квантовым выходом флуоресценции L2 (табл. 1);

б) время затухания электролюминесценции образца 2 с L2 эмиссионным слоем при выключении напряжения на электродах большее, чем для образца с эмиссионным слоем L1, что может быть объяснено вкладом замедленной флуоресценции в электролюминесценцию.

Таблица 2

Характеристики электролюминесценции

Характеристики	Образец 1 ITO/PEDOT:PSS/NPD/L1/BSP/LiF/Al	Образец 2 ITO/PEDOT:PSS/NPD/L2/BSP/LiF/Al
$\lambda_{\text{max}}$ , нм	526	510
Напряжение включения $U_{0 \text{ пор.}}$ , В	3,7	4,3
Максимальная яркость, $L_{\text{max}}$ , кд/м <sup>2</sup>	3500 ( $U = 12\text{В}$ )	5900 ( $U = 15\text{В}$ )
Эффективность по току $\eta_{\text{с}}$ , кд/А	1,55 ( $U = 9\text{В}$ )	2,44 ( $U = 9\text{В}$ )

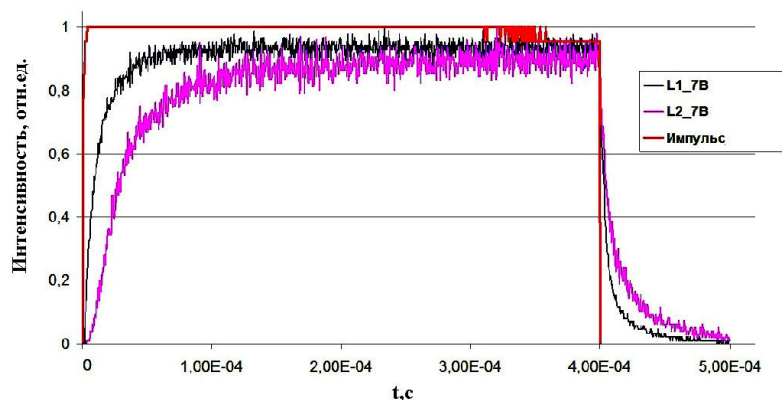


Рис. 1. Нормированные кривые разгорания и затухания электролюминесценции образцов OLED при подаче на них импульсов положительного напряжения прямоугольной формы величиной  $U=7\text{ В}$  с длительностью  $400\ \mu\text{s}$  и частотой следования  $1\ \text{kHz}$

**Заключение.** Таким образом, несмотря на то, что квантовый выход флуоресценции ( $\gamma_{\text{fl}}$ ) для L2 ниже, чем для L1 OLED на основе L2 обладает лучшими характеристиками по яркости, эффективности по току, а также достаточно низким напряжением включения (4,3 В), обусловленными вкладом замедленной флуоресценции в суммарное излучение электролюминесценции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kafafi Z.H. Organic electroluminescence. – CRC Press; 2005. – 368 с.
2. Segal M., Baldo M.A., Holmes R.J., Forrest S.R., Soos Z.G. Excitonic singlet-triplet ratios in molecular and polymeric organic materials // Phys. Rev. B. – 2003. – Vol. 7. – P. 338–344.

**ГЕНЕРАЦИЯ ЭМИССИОННОЙ ПЛАЗМЫ МИЛЛИСЕКУНДНЫМ ДУГОВЫМ РАЗРЯДОМ  
В РАЗРЯДНОЙ ЯЧЕЙКЕ ФОРВАКУУМНОГО ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ**

А.В. Казаков, А.В. Медовник, Т.Э. Юлдашбаев

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Е.М. Окс

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: [andrykazakov@gmail.com](mailto:andrykazakov@gmail.com)

**GENERATION OF EMISSION PLASMA BY MILLISECOND ARC DISCHARGE IN DISCHARGE  
GAP OF THE FOREVACUUM PLASMA ELECTRON SOURCE**

A.V. Kazakov, A.V. Medovnik, T.E. Yuldashbaev

Scientific Supervisor: Prof., Dr. E.M. Oks

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

E-mail: [andrykazakov@gmail.com](mailto:andrykazakov@gmail.com)

***Abstract.** Research of generation of emission plasma by millisecond arc discharge with a cathode spot in discharge gap of the forevacuum plasma electron source is presented. It is shown, that increase of gas pressure and/or use of working gas with grater ionization cross section lead to increase of the emission plasma density. It is found out, that in the investigated pressure range of 4–22 Pa the plasma density does not change at pulse duration of more than 1 ms, i.e. the arc discharge operates in quasi-continuous mode.*

**Введение.** Импульсные низкоэнергетичные (до 25 кэВ) плазменные источники электронов применяются для модификации поверхности материалов [1, 2]. В частности, форвакуумные плазменные источники импульсных широкоапертурных электронных пучков позволяют осуществлять непосредственную обработку диэлектриков (керамик и полимеров) [3, 4]. Для некоторых применений импульсных широкоапертурных электронных пучков необходимо увеличение энергии пучка в импульсе. В связи с тем, что при генерации низкоэнергетичного электронного пучка при давлениях от 3 Па до десятков паскаль увеличение тока эмиссии ограничено пробоем ускоряющего промежутка форвакуумного источника [5], необходимая энергия пучка в импульсе может быть обеспечена увеличением длительности импульса до единиц миллисекунд. Стабильную генерацию эмиссионной плазмы с плотностью порядка  $n \sim 10^{17}–10^{18} \text{ м}^{-3}$  в области отбора электронов при миллисекундной длительности импульса может обеспечить дуговой разряд с катодным пятном. В связи с этим целью настоящей работы являлось исследование генерации эмиссионной плазмы при миллисекундной длительности импульса дуговым разрядом с катодным пятном в разрядной ячейке широкоапертурного форвакуумного плазменного источника электронов.

**Техника и методика проведения эксперимента.** Схема разрядной ячейки форвакуумного плазменного источника на основе дугового разряда и схема измерений представлены на рис. 1. Цилиндрический медный катод 1 диаметром 6 мм заключен в керамический изолятор 2, который ограничивает рабочую поверхность катода. Катод 1 и изолятор 2 закреплены на вакуумном токовводе, который состоит из массивного изолятора 3 и проводника 4 из нержавеющей стали. Полый

цилиндрический анод 5 высотой 150 мм и внутренним диаметром 114 мм выполнен из нержавеющей стали. Инициирование дуги осуществлялось вспомогательным разрядом по поверхности диэлектрика между медным катодом 1 и поджигающим электродом 6 из нержавеющей стали. Противоположная катодному узлу торцевая часть анода была перекрыта мелкоструктурной сеткой 7 из нержавеющей стали. Расстояние между катодом и анодной сеткой составляло 80 мм. Разрядная ячейка плазменного источника размещалась на вакуумной камере, откачиваемой вакуумным насосом, который обеспечивал минимальное давление  $p_{min} = 2,5$  Па. Рабочее давление  $p$  регулировалось скоростью подачи газов в вакуумную камеру. В качестве рабочих газов использовались азот ( $N_2$ ), аргон (Ar) и гелий (He).

Питание дугового разряда осуществлялось импульсным блоком питания 8. В экспериментах средний по импульсу ток  $I_d$  дугового разряда составлял 40 А, длительность  $\tau_d$  импульса составляла 3 мс, а частота следования импульсов была 1 Гц. Особенности генерации эмиссионной плазмы 9 дуговым разрядом при миллисекундной длительности импульса исследовались путем изменения концентрации  $n$  плазмы на расстоянии от катода  $z = 60$  мм на оси симметрии источника. Измерения концентрации  $n$  плазмы осуществлялись с помощью одиночного Ленгмюровского зонда 10. Для введения зонда в разрядный промежуток в анодной сетке было выполнено отверстие диаметром 5 мм. С помощью источника постоянного напряжения 11 на зонд подавался отрицательный потенциал  $U_{cm} = -90$  В, что обеспечивало измерения в режиме насыщения ионного тока на зонд.

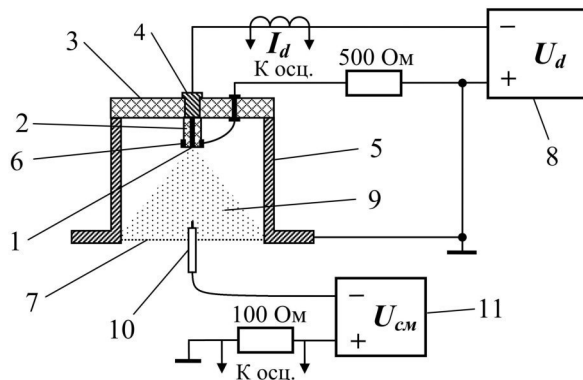


Рис. 1. Схема разрядной ячейки плазменного источника и схема измерений

**Результаты эксперимента и их обсуждения.** На рис. 2 представлены форма импульса тока  $I_d$  дугового разряда и значения концентрации  $n$  плазмы при различных давлениях  $p$  рабочего газа. На рис. 3 представлена зависимость усредненной по импульсу концентрации  $n$  плазмы от давления  $p$  рабочего при различных рабочих газах. Экспериментально установлено, что увеличение давления рабочего газа обеспечивает увеличение концентрации  $n$  плазмы. При этом использование рабочего газа с большим сечением ионизации (например, Ar) приводит к большему увеличению концентрации  $n$  (рис. 3). При давлении  $p = 4$  Па зависимость концентрации  $n$  от времени  $t$  в течение импульса имеет форму близкую к импульсу тока дугового разряда (рис. 2). Однако при давлении  $p > 4$  Па концентрация  $n$  увеличивается в течение импульса, не смотря на то, что ток разряда достиг своего амплитудного значения. При этом промежуток времени  $t_n$ , в течение которого происходит существенный рост концентрации, увеличивается с ростом давления рабочего газа. В исследованном диапазоне давлений промежуток

времени  $t_n$  не превышал 1 мс. Таким образом, при длительности импульса более 1 мс дуговой разряд функционирует в квазинепрерывном режиме в разрядной ячейке форвакуумного плазменного источника.

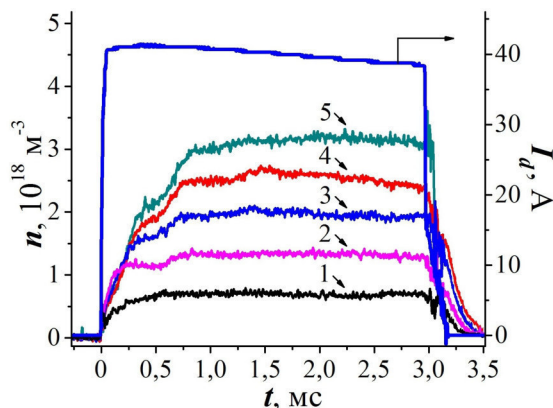


Рис. 2. Форма импульса тока  $I_d$  дугового разряда и концентрация  $n$  плазмы при различных давлениях  $p$  аргона (Ar): 1 – 4 Па; 2 – 10 Па; 3 – 16 Па; 4 – 19 Па; 5 – 22 Па

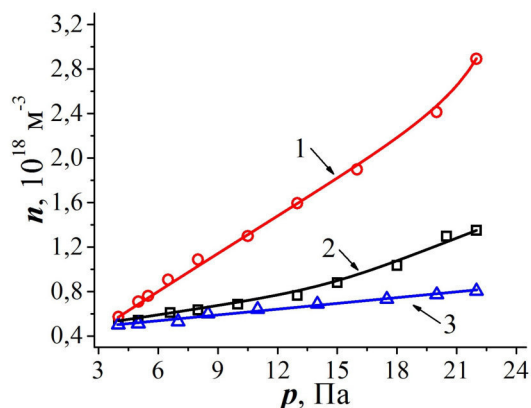


Рис. 3. Зависимость усредненной по импульсу концентрации  $n$  плазмы от давления  $p$  рабочего газа: 1 – аргон (Ar); 2 – азот ( $N_2$ ); 3 – гелий (He)

**Заключение.** Проведены исследования генерации эмиссионной плазмы миллисекундным дуговым разрядом с катодным пятном в разрядной ячейке форвакуумного плазменного источника электронов. Установлено, что увеличение давления и/или использование рабочего газа с большим сечением ионизации приводят к увеличению концентрации эмиссионной плазмы. В исследованном диапазоне давлений 4–22 Па при длительности импульса более 1 мс дуговой разряд всегда функционирует в квазинепрерывном режиме.

Работа поддержана грантом РФФИ № 18-38-20044 мол\_а\_вед. Казаков А.В. является участником программы Министерства образования и науки РФ для научно-технических сотрудников на постоянной основе, проект № 3.8705.2017/7.8.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Proskurovsky D.I., et al. Pulsed electron-beam technology for surface modification of metallic materials // Journal of Vacuum Science & Technology A. – 2001. – V. 16, No. 4. – P. 2480–2488.
2. Zhang X.D., Hao S.Z., Li X.N., Dong C., Grosdidier T. Surface modification of pure titanium by pulsed electron beam // Applied Surface Science. – 2011. – V. 257. – P. 5899–5902.
3. Бурдовицин В.А., Окс Е.М., Скробов Е.В., Юшков Ю.Г. Модификация поверхности керамики импульсным электронным пучком, генерируемым форвакуумным плазменным источником // Перспективные материалы. – 2011. – № 6. – С. 1–6.
4. Казаков А.В. и др. Модификация поверхности полимерных материалов импульсным электронным пучком // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 4 (30). – С. 75–78.
5. Burdovitsin V.A., et al. Stability of electron beam generation by forevacuum-pressure plasma-cathode electron beam source based on a cathodic arc // Physics of Plasmas. – 2018. – V. 25. – P. 073109.

**О ВЛИЯНИИ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СПЕКАНИЕ  
АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ В ФОРВАКУУМЕ**

В.В. Каранский, А.С. Климов, 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: [karanskiy2015@mail.ru](mailto:karanskiy2015@mail.ru)

**ABOUT THE IMPACT OF ELECTRON BEAM EXPOSURE ON THE SINTERING OF ALUMINA IN  
FORVACUUM**

V.V. Karanskiy, A.S. Klimov, A.A. Zenin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.S. Klimov

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

E-mail: [karanskiy2015@mail.ru](mailto:karanskiy2015@mail.ru)

***Abstract.** The article presents the results of electron beam sintering of alumina in the forevacuum range of pressures. Ceramics are irradiated with a focused electron beam which is generated using a forevacuum plasma electron source. Various modes of irradiation are considered – without scanning, with scanning the surface, as well as with rotating the sintered sample. It is shown that the use of electron beam scanning increases the homogeneity of the sintered material. The modes of irradiation are given allowing to obtain dense ceramics with a homogeneous density distribution over its volume.*

**Введение.** Конструкционная керамика на основе оксида алюминия благодаря высокой твердости, термостойкости, химической инертности, а также доступности, находит широкое применение в условиях энергонапряженной эксплуатации. Технология создания таких керамических материалов состоит из следующих основных операций: изготовление порошков заданного состава, предварительное компактирование (прессовка) заготовок и последующее спекание. Получение керамики с улучшенными эксплуатационными характеристиками возможно при использовании наноразмерных порошков с тонким контролем химического состояния, либо применении новых технологий – спекание в ВЧ и СВЧ полях, метод электроимпульсного спекания (Spark Plasma Sintering, SPS) [1], лазерное спекание [2], а также электронно-лучевое [3] и использовании особых методов предварительного компактирования [4]. Как показали ранее проведенные эксперименты [5] применение электронного пучка позволяет достаточно успешно проводить спекание алюмооксидной керамики. Однако, вопросу режимов спекания и влияния режимов электронно-лучевой обработки на свойства спеченного материалов было уделено не достаточно внимания. В настоящей статье представлены результаты исследования влияния режимов сканирования электронным пучком спекаемой поверхности, а также влияние вращения самого спекаемого материала на свойства спеченного образца.

**Экспериментальная часть.** Для проведения экспериментов по электронно-лучевому спеканию и оптимизации режимов электронно-лучевого облучения использовался форвакуумный плазменный источник электронов, способный производить обработку диэлектриков (в частности керамику) без

применения дополнительных средств компенсации заряда. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

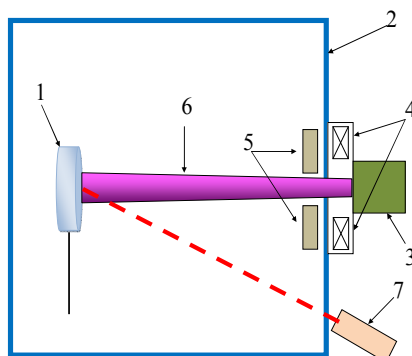


Рис. 1. Схема электронно-лучевого спекания алюмооксидной керамики: 1 – спекаемый образец, 2 – вакуумная камера, 3 – плазменный источник электронов, 4 – система фокусировки, 5 – система развертки, 6 – пучок электронов, 7 – пирометр

Образец алюмооксидной керамики  $I$  представлял собой таблетку диаметром 14 мм и толщиной 3 мм, спрессованную из нанопорошка оксида алюминия со средним размером зерна 30 мкм. Нагрев образца осуществлялся в течение 25 минут путем плавного увеличения мощности пучка. Ускоряющее напряжение в экспериментах увеличивалось с 5 до 12 кВ. Спекание образцов проводилось при температуре изотермической выдержки 1350 °С и времени выдержки 15 минут в двух различных режимах. Режим 1 – спекание осуществлялось без развертки электронного пучка по поверхности образца, электронный пучок диаметром 15 мм нацеливался в центральную часть образца. Режим 2 – спекание электронным пучком диаметром 0,5 мм с включенной системой развертки с частотой прорисовки квадрата 100 Гц.

**Результаты.** В ходе электронно-лучевого воздействия объем образцов, независимо от режима спекания, уменьшился, таблица 1. Плотность возросла практически на одинаковую величину 16–17% от первоначального значения в не спеченном состоянии. Результаты, представленные в таблице 1, свидетельствуют об уплотнении керамического материала после электронно-лучевого воздействия, что служит косвенным подтверждением прохождения процесса спекания.

Таблица 1

Основные геометрические параметры образцов

Параметр	Режим 1 (без растра)		Режим 2 (растр 100 Гц)	
	до	после	до	после
Вес, г	1,14	1,09	1,19	1,14
Толщина, мм	2,8	2,7	3	2,8
Диаметр, мм	14,20	13,10	14,15	13,25
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,57	2,99	2,54	2,97
Относительная плотность, %	1	1,16	1	1,17

Несмотря на практически идентичные внешние параметры керамических образцов после спекания – их внутренняя структура значительно отличается. Структура образца спеченного в режиме 1 неоднородна как по толщине образца, так и по его радиусу. В центральной части образца со стороны, подвергнутой электронно-лучевому облучению, наблюдается образование крупных зерен, рис. 2а, что



может свидетельствовать о перегреве в этой части. На периферии крупные зерна не обнаруживаются, как не обнаруживаются они и на стороне, не подвергаемой облучению электронным пучком.

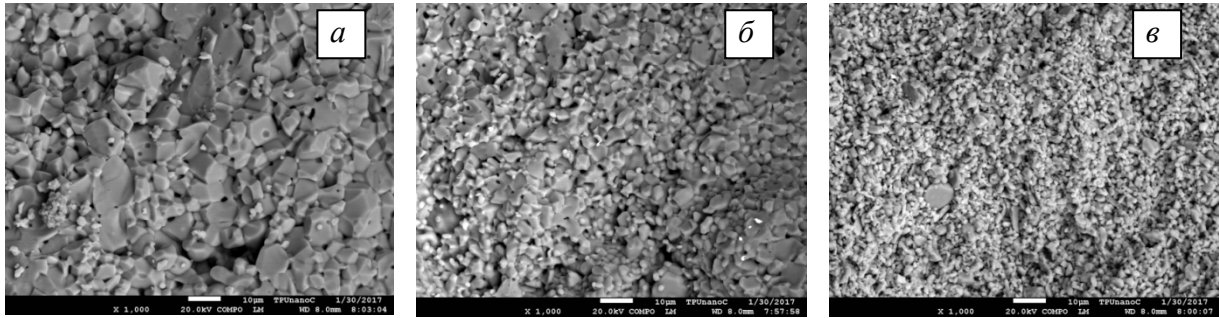


Рис. 2 Микроструктура центральной - а, периферийной - б и обратной стороны спеченного образца - в

Указанные факты свидетельствуют о неоднородном прогреве объема образца, что может приводить к столь существенным отличиям в его внутренней структуре. Фотографии внутренней структуры образца полученного при спекании в режиме 2, т.е. со сканированием поверхности узкофокусированным электронным пучком, представлены на рис. 2 б, в. В образце отсутствует образование крупных зерен и наблюдается начальный этап спекания. Распределение зерен по размерам более равномерное, что, по-видимому, связано с условиями облучения и как следствие нагрева.

**Закключение.** Получение равномерно спеченного образца алюмооксидной керамики возможно при использовании в качестве источника нагрева сфокусированного электронного пучка и обеспечении его сканирования поверхности керамики этим пучком. Показано, что при частоте сканирования 100 Гц удастся получить равномерно спеченный образец с сохранением малого размера зерен.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации - грант президента МД-2649.2019.8

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sintering and densification of nanocrystalline ceramic oxide powders: A review / Chaim P. R. [et al.] // *Advances in Applied Ceramics*. – 2008. – Vol. 107, № 3. – P. 159–169.
2. Direct laser sintering of silica sand / Y. Tang [et al.] // *Materials and Design*. – 2003. – № 24(8). – P. 623–629.
3. Анненков, Ю. М. Технология получения оксидной нанокерамики методами высокоинтенсивного воздействия / Ю. М. Анненков, А. С. Ивашутенко // *Известия высших учебных заведений. Физика*. – 2011. – Т. 54, № 1/2. – С. 37–39.
4. Lower sintering temperature of nanostructured dense ceramics compacted from dry nanopowders using powerful ultrasonic action / O. Khasanov [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2011. – Vol. 18. – P. 082004.
5. Electron Beam Sintering of Zirconia Ceramics / V. Burdovitsin, A. Zenin, A. Klimov et al. // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 872. – P. 150–156.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВАЖНОСТИ ПРИЗНАКОВ ПАЦИЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ  
РЕЗИСТЕНТНОСТИ К ПРОТИВОТУБЕРКУЛЕЗНЫМ ЛЕКАРСТВЕННЫМ СРЕДСТВАМ**Е.В. Кашеева

Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.В. Аксёнов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: [ev.kashcheeva@mail.ru](mailto:ev.kashcheeva@mail.ru)**DETERMINATION OF THE IMPORTANCE OF PATIENTS SIGNS FOR EVALUATING THE  
PROBABILITY OF RESISTANCE TO THE ANTITUBERCULOSE MEDICINES**E.V. Kashcheeva

Scientific Supervisor: Assistant Professor, Candidate of Technical Sciences S.V. Axyonov

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

E-mail: [ev.kashcheeva@mail.ru](mailto:ev.kashcheeva@mail.ru)

***Abstract.** This article describes the steps involved in preparing and analyzing data about patients with a diagnosis or suspicion of multidrug-resistant tuberculosis. A classifier was built and the importance of indicators was calculated for women and men, as well as for different age groups.*

**Введение.** Одной из десяти ведущих причин смерти в мире, по данным всемирной организации здравоохранения, является туберкулез [1]. Туберкулез это инфекционное заболевание человека и животных, поражающее лёгкие. Лечение туберкулеза осуществляется с помощью лекарственных средств или хирургическим путем. Однако не каждый препарат способен оказать влияние на вирус, существует такое понятие как лекарственная резистентность, что означает устойчивость организма к лекарственным средствам. Выделяют пять типов лекарственной резистентности к туберкулезу [2], определив наличие резистентности, специалисты медицинских учреждений подбирают соответствующее лечение. Было решено определить важность признаков пациентов по отношению к наличию резистентности к противотуберкулезным препаратам в зависимости от возраста и половой принадлежности пациентов.

**Подготовка данных к анализу.** Данные для анализа были взяты на белорусском портале по туберкулезу [3]. Информация о пациентах, поступивших в отделение МЛУ–ТБ РНПЦ пульмонологии и туберкулеза с диагнозом или подозрением на туберкулез с множественной лекарственной устойчивостью, хранилась в 412 файлах (отдельно по каждому пациенту). Для проведения анализа данных возникла необходимость в объединении информации из всех файлов в один. Так, было проведено конвертирование структуры данных и объединение информации из 412 файлов в один.

Для анализа решили использовать следующие показатели: результаты предыдущего лечения, результаты анализов мазка и культуры, наличие сопутствующих заболеваний, хирургическое вмешательство, мезенхимальная терапия стволовыми клетками, рост, вес, инвалидность, симптомы туберкулеза, образование, жилье, бывший заключенный, вредные привычки, работа, ВИЧ, аллергия, аномалии сосудов средостения, аномалии легких, бронхиальная обструкция, распространение, уменьшение объема легких, лимфаденопатия, нодикальцинатум, плеврит, пневмоторакс.

**Анализ данных.** Для начала определили количество пациентов в зависимости от возраста и половой принадлежности (Рис. 1). Выделили 4 возрастные группы, выяснили, что из 150 женщин 77 в возрасте 19 – 35, 49 в возрасте 36 – 60, 16 в возрасте старше 60 и 8 в возрасте 0 – 18. Что касается мужчин, то из 262 пациентов 152 в возрасте 36 – 60, 90 в возрасте 19 – 35, 19 в возрасте старше 60 и 1 в возрасте 0 – 18.

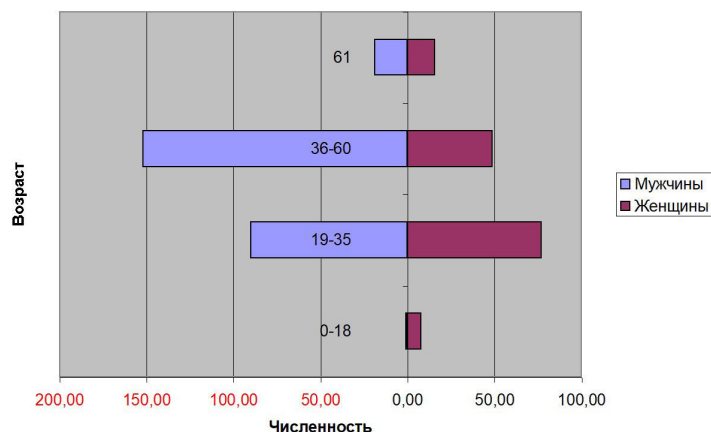


Рис. 1. Диаграмма «Количество пациентов в зависимости от возраста и половой принадлежности»

Затем был построен классификатор RandomForestClassifier и рассчитана важность признаков пациентов, для начала рассчитали важность для мужчин и для женщин (Рис. 2). Выяснили, что наиболее важным для обоих полов является наличие сопутствующих заболеваний, на втором и третьем местах у мужчин находятся наличие инвалидности и вес, а у женщин данные признаки занимают третье и второе места по важности соответственно. Затем следуют такие показатели как результат предыдущего лечения (рецидив) (4 место для обоих полов), стиль жизни (наркоман) и лимфаденопатия.

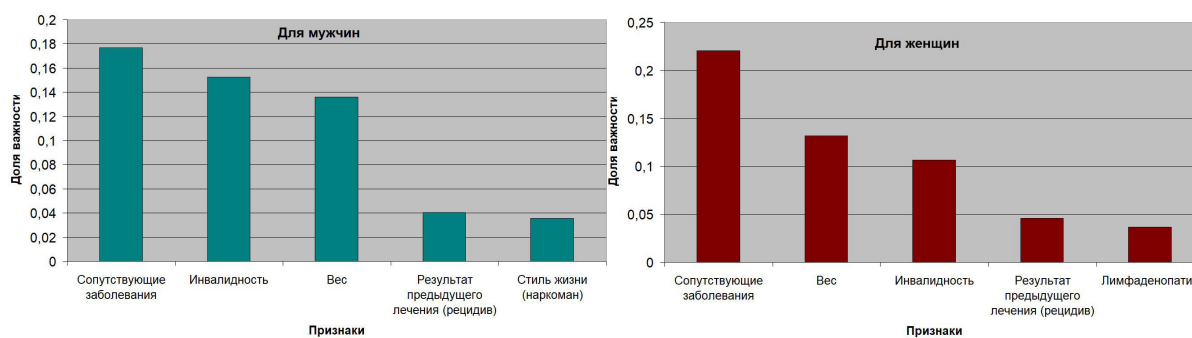


Рис. 2. Диаграммы «Важность признаков пациентов для мужчин и для женщин»

Рассчитали важность признаков пациентов для выделенных ранее возрастных групп (Рис. 3). Для группы от 0 до 18 лет доля важности принимает значения от 0,062 до 0,064, это можно обосновать тем, что в данную возрастную группу входят всего 9 пациентов и на основе такого небольшого количества данных невозможно определить важность признаков для оценки вероятности резистентности. В возрастной группе от 19 до 35 наибольшей долей важности обладает наличие сопутствующих заболеваний, затем идут вес, инвалидность, результат предыдущего лечения (рецидив) и симптомы туберкулеза. Для возрастной группы от 36 до 60 доли важности признаков расположились в порядке

убывания следующим образом: сопутствующие заболевания, вес, инвалидность, стиль жизни (алкоголизм), результат культуры. Что касается последней возрастной группы, в которую были включены пациенты с возрастом старше 60 лет, то наибольшей долей важности обладает такой признак как инвалидность, за ним следуют сопутствующие заболевания, вес, нодикальцинатум и плеврит.

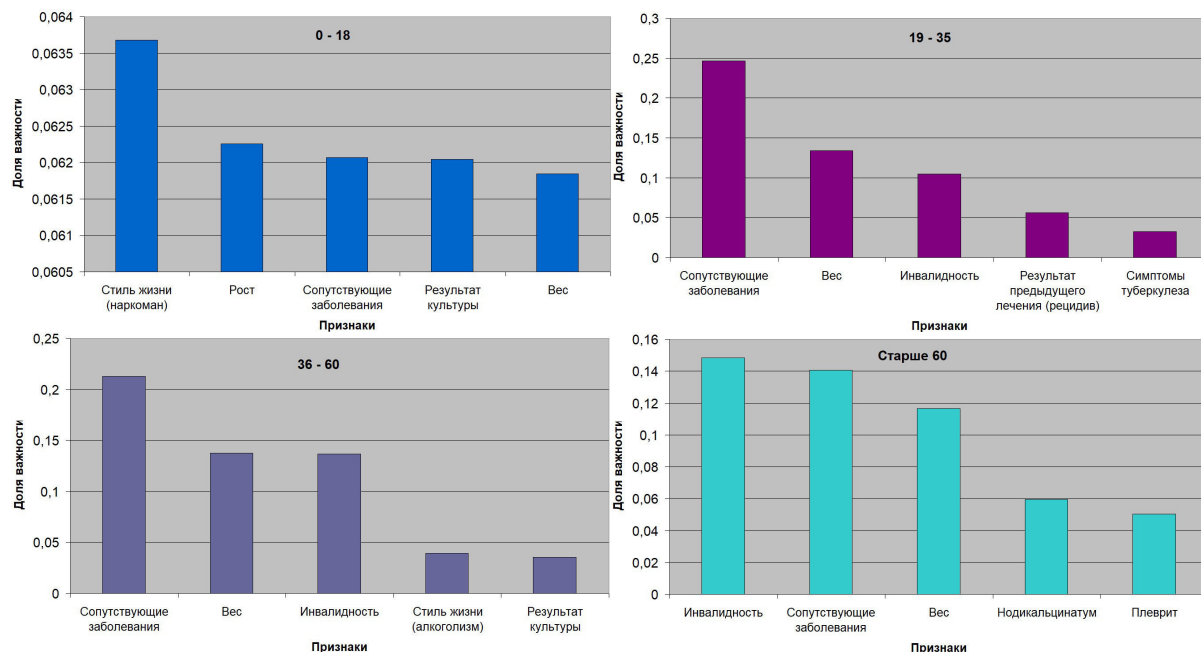


Рис. 3. Диаграммы «Важность признаков пациентов для четырех возрастных категорий»

**Заключение.** В результате выполнения работы была проведена подготовка данных к анализу, построен классификатор RandomForestClassifier, рассчитаны важности показателей. Выяснили, что для обоих полов для оценки вероятности резистентности к противотуберкулезным лекарственным средствам тремя наиболее важными признаками являются сопутствующие заболевания, инвалидность и вес. Данные признаки находятся в числе первых и для разных возрастных групп. Таким образом, вне зависимости от возраста и половой принадлежности сопутствующие заболевания, инвалидность и вес позволят оценить вероятность резистентности к противотуберкулезным препаратам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные факты о туберкулёзе [Электронный ресурс]: официальный сайт Всемирной организации здравоохранения. – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/tuberculosis> (дата обращения 9.03.2019).
2. Типы лекарственной устойчивости [Электронный ресурс]: официальный сайт Всемирной организации здравоохранения. – Режим доступа: <https://www.who.int/tb/areas-of-work/drug-resistant-tb/types/en/> (дата обращения 9.03.2019).
3. Данные о пациентах, поступивших в отделение МЛУ–ТБ РНПЦ пульмонологии и туберкулеза [Электронный ресурс]: Белорусский портал по туберкулезу. – Режим доступа: <https://data.tuberculosis.by/> (дата обращения 9.03.2019).

**СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ НА  
ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ ПАЦИЕНТА**

Е. Т. Князева

Научный руководитель: доцент, к.т.н., С. В. Аксенов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: sakharovaet@gmail.com

**CURRENT TOOLS OF SUPPORT SYSTEMS FOR MEDICAL DECISION-MAKING BASED ON THE  
BASIS OF ANALYSIS OF PRIMARY PATIENT DATA**

E. T. Knyazeva

Scientific Supervisor: S. V. Axonov

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

E-mail: sakharovaet@gmail.com

***Abstract.** In the article the review of various possibilities of support of acceptance of medical decisions in medical information systems of the medical organizations is presented. The description of functional requirements and prospects in terms of increasing the effectiveness of medical information systems in the informatization of clinical work of doctors.*

**Введение.** В общем виде под термином «система поддержки принятия решений» (DecisionSupportSystem, DSS) понимается компьютерная система, которая путем сбора и анализа информации может влиять на процессы принятия решений в различных областях человеческой деятельности [1, 2]. В здравоохранении такие решения называются уточненным термином «системы поддержки принятия врачебных решений» (СППВР).

СППВР в медицине предназначены для решения следующих задач: подача тревожных сигналов и напоминаний, ассистирование в процессе диагностики, поиск подходящих случаев (прецедентов), контроль и планирование терапии, распознавание и интерпретация образов. Важная функция СППВР – распространение «лучших практик», в т.ч. международных. Чаще всего СППВР используются именно для помощи при постановке диагноза, назначении и, при необходимости, корректировке назначенного лечения. Однако область их применения охватывает все уровни заботы о здоровье.

В особый класс можно выделить системы интерпретаций медицинских изображений, в частности, МРТ и КТ, аналитики включают развитие СППВР в области медицинской визуализации в число важнейших технологических трендов на ближайшие годы.

Также СППВР играют роль образовательных платформ и средств повышения квалификации врачей, в т.ч. в составе телемедицинских систем дистанционного обучения, они обеспечивают поддержку проведения медицинских исследований. Основным эффектом, который планируется достичь с помощью систем поддержки врачебных решений, состоит в более качественном оказании медицинской помощи пациентам. Применение различных методик должно снизить количество осложнений, летальных исходов, уменьшить частоту применения неэффективных методик лечения и профилактики,

малоинформативных методов диагностики.

Кроме этого, имеется и экономическая подоплека: системы поддержки принятия врачебных решений позволяют избежать необоснованных расходов медицинской организации вследствие уменьшения затрат на обследование и лечение пациентам [3, 4].

Для систематизации современных Российских СППВР все продукты были объединены в четыре укрупненные группы:

1. **Диагностика**, включая дифференциальную диагностику
2. **Профилактика** заболеваний и осложнений, включая прогнозирование
3. **Помощь** в лечении, включая подбор и контроль терапии
4. **Мониторинг пациентов**, в том числе автоматизированный удаленный мониторинг

Краткое описание существующих Российских решений по группам, использующим первичные данные пациентов представлено в таблице ниже

Таблица 1

Классификация современных Российских СППВР

№	Описание решения
<b>Диагностика</b>	
1	« <b>Botkin.ai</b> » – система предназначена для автоматического выявления патологических проявлений в рентгенологических исследованиях, КТ и МРТ, а также маммограмм
2	« <b>Третье мнение</b> ». Компания в сотрудничестве с онкологическими клиниками развивает интерфейс по распознаванию типов клеток крови, а также разрабатывает софт для анализа медицинских изображений рентгенографии легких, маммографии, компьютерной томографии и УЗИ
3	« <b>UNIM</b> » – предоставляют сервис для удаленного патогистологического обследования на предмет онкологических заболеваний, а также подсчет индекса Ki-67, определяющего скорость роста опухоли. Входит в ФРИИ.
4	« <b>CoBrain-Аналитика</b> » - платформа для сбора, хранения, анализа и обработки больших медицинских данных о головном мозге человека в разных состояниях. Помогает ставить диагнозы, формировать персональную терапию для пациентов с заболеваниями мозга, выявить патологию, которая физически еще не проявилась
5	« <b>Доктор Томо</b> » - интеллектуальная технология ранней диагностики онкопатологий легких на базе данных компьютерной томографии
6	« <b>Анализ флюорограмм</b> » - сервис умеет анализировать цифровые флюорографические снимки и выявлять в них патологические очаги
7	« <b>SkychainGlobal</b> » - платформа для создания решений на базе ИИ для медицины, включая анализ изображений и выявление патологий
8	« <b>Автоплан</b> » - помогает анализировать медицинские изображения и формировать протоколы обследования
9	« <b>Второе мнение AI</b> » - система анализа рентгеновских снимков с помощью искусственного интеллекта
<b>Профилактика</b>	
1	« <b>Webiomed</b> » – сервис для автоматической оценки показателей здоровья пациента, в том числе на основе анализа ЭМК и предсказания (прогноза) наличия или развития заболеваний.
2	« <b>MeDiCase</b> » - комплект переносного медицинского оборудования и ПО, помогающие проводить первичное обследование пациента и принятие решений о необходимости его обследования/лечения при выявлении подозрений на заболевания
3	« <b>ABI Assist</b> » - система первичного сосудистого скрининга на основе интеграции аппарата для объёмной сфигмографии с информационной системой поддержки врачебных решений



Продолжение таблицы 1

Лечение	
1	«Справочник врача». Приложение для AppleiOS и Android, предоставляющее доступ клиницистам к медицинским калькуляторам, шкалам оценки состояния пациента и клиническим рекомендациями и медицинским библиотекам для принятия взвешенных врачебных решений.
2	«Электронный клинический фармаколог» - помогает врачу при назначении фармакотерапии, способствует уменьшению врачебных ошибок и осложнений в клинической практике
3	«Автоматизированный скрининг лекарственных назначений» - помогает проверить правильность и безопасность при назначении лекарственной терапии
4	«DroiceLabs» - встраиваемый в медицинские информационные системы цифровой помощник, помогающий врачам принимать более правильные решения
5	«Galenos» - система поддержки принятия врачебных решений, позволяющая контролировать выполнение медицинских стандартов
6	«Чирп» - онлайн сервис для пациентов, помогающий определить правильность лечения и проверить совместимость лекарств
7	«PME Planner» - система для расчета коррекции врожденной или посттравматической деформации бедренной кости для нужд травматологии и ортопедии
8	<b>Платформа медицинских стандартов</b> - содержит тексты медицинских стандартов в структурированном виде

**Заключение.** Приведенный анализ существующих информационных систем, призванных обеспечить объективизацию и повышение эффективности диагностики и лечения пациентов, демонстрирует разнообразие методик и исследуемых параметров, применяющихся в разрабатываемых СППВР. Вместе с тем существует ряд проблем, затрудняющих их применение в реальной врачебной практике. Работа врача предполагает максимальное удобство применения подобного рода систем поддержки, тогда как большинство существующих СППВР не интегрированы с информационными системами лечебно-профилактических учреждений, требуют дополнительной нагрузки от врача по внесению первичной информации о пациенте.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвин, А.А. Системы поддержки принятия решений в хирургии // Новости хирургии. — 2014. — Т. 22., № 1. — С. 96-100.
2. Раводин, Р. А. Интеллектуальная система поддержки принятия врачебных решений // Проблемы медицинской микологии. — 2014. — Т. 16., № 3. — С. 59-65.
3. Зарипова, Г.Р. Современные модели экспертных систем поддержки принятия врачебных решений в прогнозировании операционного риска в хирургической практике // Таврический медико-биологический вестник. — 2016. — Т. 19., № 4. — С. 140-145.
4. Доан, Д.Х. Обзор подходов к проблеме принятия решений в медицинских информационных системах // Фундаментальные исследования. 2015. — № 12. — С. 26-30.

**СИСТЕМА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПУНКТА ГЛУБИННОГО  
ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

О.Н. Кокорев\*\*\*, Гибадулина Т. А. \*\*

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н., М.Д. Носков\*\*; доцент, к.т.н, А.А. Щипков\*\*

\* ФГУП «НО РАО» филиал «Северский»

Россия, г. Северск, Коммунистический пр-т, д.8, 636035

\*\* СТИ НИЯУ МИФИ,

Россия, г. Северск, Коммунистический пр-т, д.65, 636036

E-mail: [kokorev.podzemgazprom@yandex.ru](mailto:kokorev.podzemgazprom@yandex.ru)

**SYSTEM OF HYDRODYNAMIC MONITORING OF A DEPTH DISTRIBUTION POINT OF LIQUID  
RADIOACTIVE WASTE**

O.N. Kokorev, T.A. Gibadulina

Scientific Supervisor: Prof., Dr. M. Dm. Noskov; assistant Prof. Candidate, A.An. Shipkov

\* The Federal State Unitary Enterprise «National operator for radioactive waste management» the branch

«Severskiy», Russia, Seversk, Communist Av. 8, 636035

\*\* Seversk Technological Institute National Research Nuclear University «МЕРФИ», Russia, Seversk,

Communist Av. 50, 636036

E-mail: [kokorev.podzemgazprom@yandex.ru](mailto:kokorev.podzemgazprom@yandex.ru)

***Abstract.** The basic principles of using information and intelligent technology at the deep disposal landfill for liquid radioactive waste (DDL LRW) have been presented. Used hydrodynamic monitoring system strategy enables increasing nuclear and radiation safety of LRW disposal. The modernization of the hydrodynamic monitoring system will further allow the creation of this goal is ensured by creating an effective landfill control information system*

**Введение.** Целью гидродинамического мониторинга пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов (ПГЗ ЖРО) филиала «Северский» ФГУП «НО РАО» является оценка безопасности захоронения и локализации ЖРО, а также оценка влияния захороненных жидких РАО на состояние эксплуатационных и буферных горизонтов ПГЗ ЖРО в режиме реального времени.

В задачи гидродинамического мониторинга входит:

-выявление аварийных перетоков из-за нарушения целостности и герметичности эксплуатационной колонны нагнетательных скважин в режиме реального времени;

-установление изменения направлений внутри и межгоризонтных потоков и напорных градиентов и оценка степени изоляции горизонтов друг от друга на полигоне и территории между полигоном и водозаборами;

-получение массива гидрогеологической информации, о фильтрационных свойствах пород, для создания и верификацию расчетной математической модели с последующим ее использованием при выполнении прогнозного моделирования [1].

Система гидродинамического мониторинга в филиале «Северский» ФГУП «НО РАО», позволяет эффективно контролировать технологические процессы удаления отходов в подземные горизонты,

минимизируя потенциально возможный ущерб для окружающей среды от возникновения аварийных ситуаций. Наиболее опасной из таких ситуаций является нарушение герметичности (коррозия, свищ, трещина и др.) эксплуатационной колонны нагнетательной скважины в интервале буферных горизонтов или горизонтов, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения населённых пунктов [2,3].

**Основная часть.** В состав ПГЗ ЖРО входят пункты наблюдений за состоянием недр –скважины, которые подразделяются по местоположению, глубинам, контролируемым горизонтам и конструкциям [4].

Гидродинамический мониторинг включает себя работы по наблюдениям за гидродинамическими процессами, выражающимися в изменении положений уровней подземных вод в наблюдательных скважинах или давлений на их устьях, за температурой коллекторских и вышезалегающих горизонтов, газовыделением из скважин [2].

По местоположению контрольно-наблюдательные скважины подразделяются на наблюдательные скважины регионального контроля, расположенные за границами горного отвода (или в непосредственной близости от этих границ), и контрольные скважины на площадках 18 и 18а.

По глубинам и контролируемым горизонтам контрольно-наблюдательные скважины подразделяются на: вскрывающие II и III коллекторские горизонты, вскрывающие вышезалегающий буферный IV горизонт, вскрывающие верхние V и VI горизонты [5].

Определение глубин залегания уровней подземных вод в наблюдательных скважинах определяются электроуровнемерами или другими приборами для измерения уровней. При известных абсолютных отметках поверхности земли или репера определяется абсолютная отметка уровня. Так как технология измерения уровня подземных вод хлопущками и электроуровнемерами рулетного типа имеет точность не лучше, чем  $\pm 1-2$  см, и подобный способ не способен эффективно давать большое число (десятки-сотни) замеров в течение суток, в рамках работ по мониторингу состояния недр используются высокоточные датчики уровня [1].

Возможность применения высокоточных датчиков уровня, стационарно установленных на оголовках скважин, позволяет, как минимум, на порядок повысить чувствительность измерений к возникновению аварийных ситуаций вблизи действующих нагнетательных скважин на полигонах глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов [7]. В связи чем, для улучшения качества системы геотехнологического мониторинга и для осуществления гидродинамического мониторинга в режиме реального времени, в филиале «Северский» необходимо провести мероприятия по внедрению собственных автоматизированных высокоточных датчиков по замерам уровня пластовых вод в скважинах ПГЗ ЖРО филиала «Северский» ФГУП «НО РАО».

Информация по замерам уровня пластовых вод с контрольных скважин ПГЗ ЖРО филиала «Северский» ФГУП «НО РАО» должна передаваться на технологические здания, для оперативного гидрогеодинамического контроля. В качестве протокола передачи данных от датчика до технологического здания был выбран открытый протокол LoRaWAN который характеризуется высокой ёмкостью (до 1 млн устройств), значительным радиусом действия до 10-15 км на открытой местности, низким энергопотреблением. В качестве способа беспроводной передачи данных рассматривались следующие варианты:

- GSM (расстояние до ~ 30 км от БС, скорость до 384 кБит/с);
- 3G (расстояние до ~ 8 км от БС, скорость до 21 кБит/с) [6].

Первичные результаты наблюдений за положениями уровней подземных вод представляются в виде таблиц и графиков изменения абсолютных отметок уровней в зависимости от времени и объёмов захоронения [2].

Система гидродинамического мониторинга, предусматривает возможность дальнейшего повышения эффективности работы полигона глубинного захоронения ЖРО, а также возможная оптимизация и систематизация системы мониторинга состояния недр путем создания автоматизированной системы управления всего технологического процесса, включающей в себя удаленный контроль основных параметров (в том числе и уровня пластовых вод) и управление основным технологическим оборудованием (насосы, задвижки и т. п.) на основе единой SCADA-системы [8].

**Заключение.** Ожидаемыми результатами эффективной эксплуатации системы гидродинамического мониторинга являются снижение затрат на функционирование ПГЗ ЖРО и минимизация отрицательного воздействия полигона на окружающую среду за счет:

- принятия оперативных и оптимальных решений при управлении технологическими операциями;
- возможности автоматизированного управления технологическими процессами в режиме реального времени;
- ускорение составления документации и отчетности, в том числе в части воздействия полигона на окружающую природную среду.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К-319-2/032-2018, «Концепция развития системы гидродинамического мониторинга филиала «Северский»» ФГУП «НО РАО», 2019
2. РГТМ-319-ф20-120-2015, Регламент мониторинга состояния недр и подземных сооружений пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов филиала «Северский», -Северск, ФГУП «НО РАО», 2014
3. Гаричев, С. Н., Ерёмин, Н. А. Технология управления в режиме реального времени. - М.: МФТИ, 2015 - 196 с.
4. Рыбальченко А.И., Пименов М.К., Костин П.П. и др. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов-М.ИздАТ,1994.- 257 с.
5. Зубков А. А., Рыбальченко А. И., Токарев И. В., Данилов В. В., и др. Анализ системы геотехнологического мониторинга полигона подземного захоронения жидких радиоактивных отходов СХК. // Разведка и охрана недр. – 2007. –№ 11. – С. 56–61.
6. Гибадулина Т. А., Кокорев О. Н., Носков М. Д., Щипков А. А. Система мониторинга уровня пластовых вод в наблюдательных скважинах ПГЗ ЖРО // IX школа-конференция молодых атомщиков Сибири: Сборник тезисов докладов. – Томск, 2018. – С. 150.
7. Кокорев О. Н., Козлов А. Е., Носков М. Д., Щипков А. А., Концепция умного полигона глубинного захоронения ЖРО. //Известия высших учебных заведений. Физика. – 2018. –№ 12-2. – С. 45–49.
8. Кокорев О. Н. Носков М. Д., Щипков А. А., Козлов А. Е. Концепция автоматизированной системы контроля уровня пластовых вод, с целью управления технологическим процессом эксплуатации ПГЗ ЖРО // IX школа-конференция молодых атомщиков Сибири: Сборник тезисов докладов. – Томск, 2018. – С. 35.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА НАЛОГОВОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ ПРИ  
ПРОВЕДЕНИИ ПРЕДПРОВЕРОЧНОГО АНАЛИЗА НАЛОГОПЛАТЕЛЬЩИКА**

А.С. Колтайс, Д.И. Тимуш

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.А. Шелупанов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: [kas2@keva.tusur.ru](mailto:kas2@keva.tusur.ru)

**AUTOMATION OF THE MECHANISM OF TAX ADMINISTRATION IN THE PERFORMANCE OF  
THE PRE-TEST ANALYSIS OF TAXPAYER**

A.S. Koltays, D.I. Timush

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.A. Shelupanov

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

E-mail: [kas2@keva.tusur.ru](mailto:kas2@keva.tusur.ru)

***Abstract.** This article reveals the relevance of the development of a system for pre-verification analysis of the taxpayer based on data from the SPARK system, namely the subsystem for the collection and processing of information on indicators of financial and economic activity of the taxpayer. The means of assessment of financial condition of the enterprise used in tax authorities are investigated. We described in detail the functionality of the system in applications "Taxpector".*

**Введение.** При проведении предпроверочного анализа налоговому инспектору необходимо собрать и обработать большие объемы данных об организациях, их деятельности, руководителях и т. д. из различных источников, как внешних, так и внутренних [1]. Многие процессы сбора и обработки однотипны, и поэтому их многократное повторение в отношении отдельно взятой организации значительно увеличивает сроки проведения анализа, а также допускает возможность ошибки при обработке информации.

Например, при оценке финансового состояния налогоплательщика налоговому инспектору требуется проанализировать документы бухгалтерской отчетности:

- Форма 1: Бухгалтерский баланс;
- Форма 2: Отчёт о финансовых результатах.

Каждый из этих документов содержит таблицу примерно с 30 строками, являющимися различными финансовыми показателями.

При выгрузке этих документов из внутренней системы ЭОД (система электронной обработки данных, в которой хранится и обрабатывается вся налоговая отчетность [2]) налоговый инспектор получает файл, из которого нельзя полноценно копировать данные, а именно таблицы целиком с целью вычисления различных коэффициентов, служащих оценкой финансового состояния. Налоговому инспектору приходится копировать каждую ячейку вручную или предварительно переносить сведения на бумагу, и только после этого начинать процесс анализа. Также, с ноября 2018 года Федеральная налоговая Служба принимает отчетность только в свою новую систему АИС «Налог-3» [3] (АИС –

автоматизированная информационная система), однако при её создании не участвовали разработчики системы ЭОД, поэтому многие из известных недостатков ЭОД не были исправлены. Главное отличие АИС «Налог-3» от ЭОД в том, что новая система работает на федеральном уровне, а ЭОД имел региональные базы данных. В связи с этим, налоговыми инспекторами уже было отмечено снижение общей скорости обработки и получения необходимых сведений. Также АИС-3 «Налог» не решила проблему неудобства анализа бухгалтерской отчётности – она представляет документы в точности таком же виде.

**Экспериментальная часть.** Решением данных проблем является создание автоматизированной системы «Тахрестор» для сбора данных из открытых источников, а именно из системы «Спарк-Интерфакс», их последующей автоматической обработки и вывода в более пригодном для дальнейшего анализа виде. Это позволит сократить затрачиваемое налоговым инспектором время на сбор и обработку таких данных и улучшить эффективность работы налоговых органов в целом, что и является целью данной работы. Разработка такой системы является комплексной задачей. В ходе её реализации было спроектировано собственное программное обеспечение, исследована и задокументирована работа системы «Спарк-Интерфакс», а также взаимодействие с её программными интерфейсами.

При проектировании системы, к ней были предъявлены следующие функциональные требования:

- авторизация в системе СПАРК от лица пользователя;
- отсылка поисковых запросов, содержащих ИНН проверяемого налогоплательщика, в систему СПАРК;
- обрабатывать результаты поиска по ИНН (в прототипе – брать только первый результат);
- отсылка запросов на получение необходимых для проведения предпроверочного анализа сведений в систему СПАРК;
- обработка полученных сведений;
- вывод отчёта в экранные формы приложения.

VRMN диаграмма [4] бизнес-процесса проведения предпроверочного анализа налогоплательщика при помощи системы Тахрестор представлена на рисунке 1.

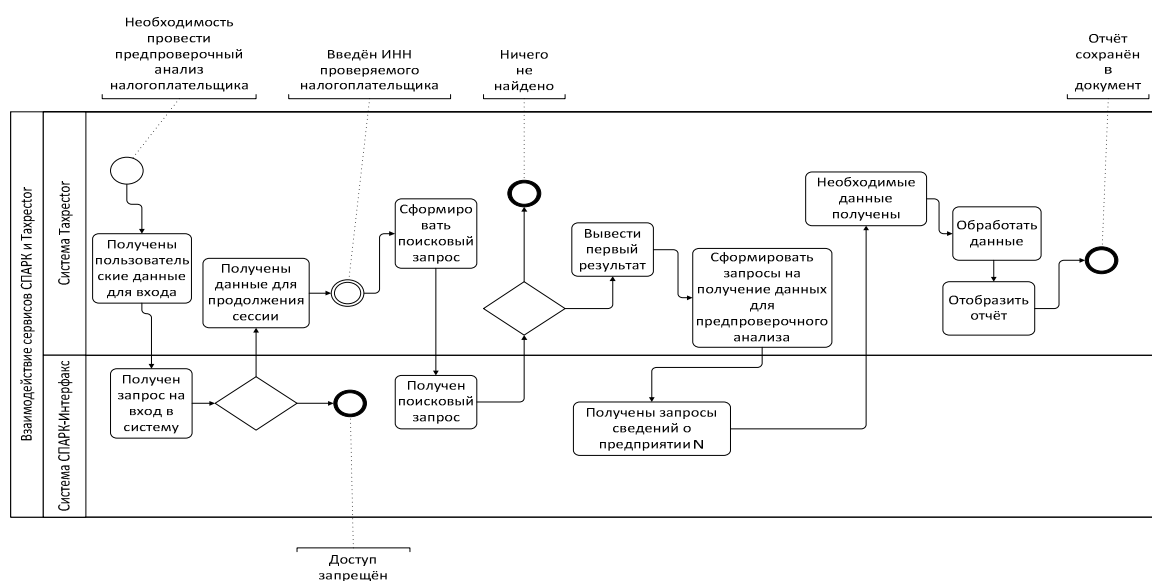


Рис. 1. Схема бизнес-процесса работы с системой Тахрестор



Для программной реализации выбран язык программирования Javascript, ввиду своей простоты, универсальности, кроссплатформенности и наличия опыта разработки на нём.

В качестве фреймворка был выбран Electron. Данный фреймворк позволяет создавать настольные приложения, используя Javascript, HTML и CSS – стандартный набор языков при разработке веб-приложений. Фреймворк является проектом с открытым кодом, имеет компиляторы под все современные операционные системы (Windows, Mac, Linux) в комплекте.

В качестве библиотеки для отправки запросов была выбрана библиотека Axios.js, поскольку она предоставляет не только удобный набор функций для создания запросов, но и обработчики ответов (как успешных, так и завершившихся с ошибкой), возвращает данные в виде JSON-объектов, не вынуждает пользоваться методами конвертации.

В качестве фреймворка для разработки интерфейса был выбран Vue.js, поскольку он легко масштабируемый, модульный, быстрый и использует Virtual DOM.

Для генерации отчёта в docx-файле была выбрана библиотека docx.js ввиду своей открытости и обширной документации, исчерпывающе описывающей все функции библиотеки.

Для получения и преобразования данных используются следующие алгоритмы:

- алгоритмы отправки запросов в систему СПАРК и обработки ответов от него;
- алгоритмы сериализации данных;
- алгоритмы генерации HTML-таблиц;
- алгоритмы генерации XML-таблиц для наполнения DOCX-файла.

**Результаты.** Реализованная система является «Taxrector» позволяет ускорить проведение финансового анализа предприятия в 18 раз, сокращая временные затраты с 3 часов до 10 минут, так как работник налоговых органов может получить необходимые сведения в удобном для него формате с возможностью экспорта в Excel.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 А.П. Абрамов, М.В. Князева: Учебное пособие «Организация и методика налоговых проверок», Томск, 2007.
- 2 Г.А. Моргунова, Е.И. Комарова: Учебное пособие «Информационные технологии в налогообложении». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cde.osu.ru/demoversion/course171/1.html> (дата обращения 21.10.18)
- 3 Автоматизированная информационная система «Налог-3». ФНС. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.nalog.ru/rn77/about\\_fts/gos\\_inf/4045827/](https://www.nalog.ru/rn77/about_fts/gos_inf/4045827/) (дата обращения 21.12.18)
- 4 Нотация BPMN. Business Studio Документация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.businessstudio.ru/wiki/docs/v4/doku.php/ru/csdesign/bpmodeling/bpmn\\_notation](https://www.businessstudio.ru/wiki/docs/v4/doku.php/ru/csdesign/bpmodeling/bpmn_notation) (дата обращения 18.01.19).

**МОДИФИКАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ U-NET ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

К.А. Костин, С.А. Семёнов

Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.В. Аксёнов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: [kak@tpu.ru](mailto:kak@tpu.ru)

**MODIFICATION OF NEURAL NETWORK MODEL U-NET TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF  
IMAGE SEGMENTATION**

K.A. Kostin, S.A. Semenov

Supervisor: Associate Professor, PhD. S.V. Axyonov

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

E-mail: [kak@tpu.ru](mailto:kak@tpu.ru)

***Abstract.** In the present study we developed two modifications of the U Net model, the effective segmentation algorithm and architecture used for bioimage analysis. The research uses CDNET database to evaluate the performance of the suggested models and basic architecture. The obtained results demonstrate the effectiveness of the modifications. The first model can detect all the segment locations correctly and the second one has few errors.*

**Введение.** Задачи сегментации изображений являются крайне актуальными в медицинской сфере, геоинформационных системах и технологиях для умного транспорта. Первые методы решения этой задачи включали подходы, основанные на цветовой фильтрации изображений [1], метрических алгоритмах кластеризации [2] или морфологических алгоритмах компьютерного зрения [3]. Такие методы, зачастую, не позволяли с достаточной точностью решать задачи на реальных данных окружающего мира. В настоящее время вышеописанным подходам пришли на смену методы машинного и, в частности, глубинного обучения, позволяющие решать сложные задачи различных предметных областей с использованием больших наборов накопленных данных. Одними из наиболее известных и успешных решений в сфере глубинного обучения на сегодняшний день являются: SegNet [4], Mask R-CNN [5], U-net [6], FgSegNet [7], другие архитектуры сверточных нейронных сетей, использующие методологию автокодирования изображений [8; 9; 10].

Целью нашего исследования является поиск методов универсализации архитектур нейронных сетей для сегментации изображений путём их модификации.

**Экспериментальная часть.** В работе был выбран алгоритм U-net, применявшийся ранее для сегментации биомедицинских изображений [11]. Архитектура свёрточной нейронной сети U-net использует принципы построения автоэнкодеров с применением пирамиды признаков [12], позволяющей учитывать различные масштабы сегментируемых объектов.

В исследовании проводился эксперимент по обучению и тестированию этой сети на данных естественной среды, полученных из набора CDNET 2014 [13]. Для проведения исследования была

выбрана категория baseline и серия изображений highway из CDNET, предполагающая задачу сегментации объектов-автомобилей на видео-записи транспортного потока на загородной трассе. Общее количество изображений используемых для эксперимента составляет 1700 кадров видео.

В ходе проведения исследований было осуществлено несколько экспериментов с различными версиями алгоритма U-net: исходной версией, модификацией 1 и модификацией 2. Каждая последующая модификация алгоритма была произведена на основе результатов тестирования предыдущей версии.

Первой модификацией алгоритма являлась реализация функции ошибки сети, учитывающей несбалансированность соотношения пикселей изображения, относящихся к сегментам, и остальных пикселей изображения. Перед началом обучения рассчитывается общее соотношение количества пикселей, относящихся к маске сегмента, и остальных пикселей – это используется для расчёта повышающего коэффициента балансировки. Расчёт функции ошибки осуществляется по двум компонентам: первая компонента – это значение ошибки, рассчитанное только по пикселям, соответствующим маске, умноженное на коэффициент балансировки; вторая компонента – это ошибка, рассчитанная по прочим пикселям изображения. Итоговое значение ошибки рассчитывалось как сумма двух компонент.

Второй модификацией алгоритма являлось изменение архитектуры сети путём добавления слоёв нормализации батчей. Данный тип слоёв для нейронных сетей впервые был предложен в [14] и предназначен для стандартизации распределения значений выходов свёрточных слоёв сети перед применением нелинейной функции активации, такой, например, как ReLU или LeakyReLU. Основным эффектом применения данных слоёв является более плавное изменение функции ошибки, снижение вероятности переобучения, осуществление более аккуратного градиентного спуска во время обучения сети.

**Результаты.** Эксперименты с исходной сетью U-net и двумя предложенными модификациями для задачи сегментации изменяющихся объектов на кадрах видео естественной среды осуществлялись на вышеописанных данных набора CDNET 2014. Для эксперимента из исходного набора вручную было отобрано 60 изображений для осуществления тестирования обученной сети, оставшиеся примеры в наборе были разделены на обучающую и валидационную подвыборки в отношении 5:1. Все модификации алгоритма обучались в равных условиях: 100 эпох обучения, 4 – размер батча обучающих примеров.

**Закключение.** По результатам тестирования получено, что архитектура сети U-net без изменений не позволяет выделить сегменты на изображениях, и такой алгоритм в исходном виде не применим для решения выбранной задачи. Первая модификация позволяет детектировать местоположения сегментов, однако точность такой архитектуры недостаточно высока, наблюдается высокое количество ложных срабатываний сети. Вторая модификация практически полностью решает проблему ложных срабатываний, и, при этом, имеет малое количество ошибок – местоположения сегментов достаточно близки к их истинному местоположению.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jamil A.M. Saif, Ali Abdo Mohammed Al-Kubati, Abdultawab Saif Hazaa, Mohammed Al-Moraish. Image Segmentation Using Edge Detection and Thresholding // Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Arab Conference on Information Technology ACIT'2012, Dec. 10-13. – 2012. – pp. 473-476.

2. Noel O'Connor<sup>1</sup>, Sorin Sav, Tomasz Adamek, Vasileios Mezaris, Ioannis Kompatsiaris, Tsz Ying Lui, Ebroul Izquierdo, Christian Ferran Bennström, Josep R Casas. Region and Object Segmentation Algorithms in the Qimera Segmentation Platform // Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing. – 2003. – pp. 95-103.
3. Akshay P.Vartak, Dr. Vijay Mankar. Morphological Image Segmentation Analysis // International Journal of Computer Science and Applications. – 2013. – Vol. 6(2). – pp. 161-165.
4. Vijay Badrinarayanan, Alex Kendall, Robert Cipolla. SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1511.00561.pdf> (дата обращения: 01.03.2019).
5. Kaiming He, Georgia Gkioxari, Piotr Dollar, Ross Girshick Mask R-CNN [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1703.06870.pdf> (дата обращения: 01.03.2019).
6. Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, Thomas Brox U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1505.04597.pdf> (дата обращения: 01.03.2019).
7. Long Ang Lim, Hacer Yalim Keles. Foreground segmentation using convolutional neural network for multiscale feature encoding // Pattern Recognition Letters. – 2018. – Vol. 112. – pp. 256-266.
8. Nikolas Lessmann, Bram van Ginneken, Pim A. de Jong, Ivana Isgum Iterative fully convolutional neural networks for automatic vertebra segmentation and identification [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1804.04383.pdf> (дата обращения: 01.03.2019).
9. Leena Silvester M., Govindan V.K. Convolutional Neural Network Based Segmentation // Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Information Processing, ICIP 2011, Bangalore, India, August 5-7, 2011, CCIS, Vol.157. – 2011. – pp. 190-197.
10. Stiaan Wiehman, Hendrik de Villiers Semantic segmentation of bioimages using convolutional neural networks // Proceedings of the 2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), July 24-29. – 2016. – DOI: 10.1109/IJCNN.2016.7727258.
11. ISBI Challenge: Segmentation of neuronal structures in EM stacks [Электронный ресурс]. – режим доступа: [http://brainiac2.mit.edu/isbi\\_challenge/](http://brainiac2.mit.edu/isbi_challenge/) (дата обращения: 01.03.2019).
12. Tsung-Yi Lin, Piotr Dollar, Ross Girshick, Kaiming He, Bharath Hariharan, Serge Belongie Feature Pyramid Networks for Object Detection [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1612.03144.pdf> (дата обращения: 01.03.2019).
13. ChangeDetection.NET (CDNET) A video database for testing change detection algorithms [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://jacarini.dinf.usherbrooke.ca/dataset2014/> (дата обращения: 01.03.2019).
14. Sergey Ioffe, Christian Szegedy Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1502.03167.pdf> (дата обращения: 01.03.2019).

**ОТОБРАЖЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ В МНОГОУРОВНЕВЫХ  
КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЯХ**

М.И. Кочергин

Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.М. Дмитриев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

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

E-mail: [max24kochergin@gmail.com](mailto:max24kochergin@gmail.com)

**REPRESENTATION OF OBJECTS GEOMETRIC PROPERTIES IN MULTILEVEL COMPUTER  
MODELS**

M.I. Kochergin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.M. Dmitriev

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

E-mail: [max24kochergin@gmail.com](mailto:max24kochergin@gmail.com)

***Abstract.** The article proposes an approach to improving the tools of the multilevel computer modeling physics-geometric problems. The approach means using a library of geometric components models, illustrated on the ball rolling model on an inclined surface. The proposed approach allows to decompose a physics-geometric problem into physics and geometric components for improving model accuracy and time calculations, simplifying model modification and increasing model readability.*

**Введение.** Особое место при обучении специалистов в области технических наук занимает компьютерное моделирование физических задач [1]. Физическая задача (ФЗ) – постановка некоторой проблемы из предметной области «Физика», решаемой с помощью математических действий, логических умозаключений, эксперимента. Физико-геометрическая задача (ФГЗ) как разновидность ФЗ характеризуется явно выраженным пространственно-геометрическим субаспектом [2], который обуславливает структуру её модельного представления [3]. Вследствие этого актуальным является совершенствование существующих инструментальных средств моделирования ФГЗ с целью формирования комплекса инструментов, позволяющих эффективно и точно реализовывать пространственно-геометрическую составляющую ФГЗ.

**Многоуровневый подход к моделированию физико-геометрических задач.** Многоуровневый подход предполагает декомпозицию компьютерной модели исследуемого физического объекта на три уровня [4] в соответствии с 3 слоями редактора среды моделирования: 1) схемно-объектный – описывающий непрерывное поведение объекта системами алгебро-дифференциальных уравнений (соответствует С-слою редактора); 2) алгоритмический – описывающий дискретное поведение объекта средствами имитационного моделирования (L-слой); 3) визуальный (V-слой).

В качестве среды моделирования рассмотрим среду многоуровневого моделирования MAPC [5], реализующую компонентный подход к созданию моделей [6].

**Общий подход к моделированию физико-геометрических задач.** В качестве комплекса инструментов для моделирования пространственно-геометрической составляющей ФГЗ предлагается

разработка библиотеки моделей геометрических компонентов следующих типов: 1) геометрические примитивы (отрезок, треугольник и пр.) – базовый набор геометрических фигур, лежащий в основе всех графических построений и позволяющий рассчитывать их характеристики; 2) геометрические преобразователи, предназначенные для расчёта проекций вектора на плоскость, расчёта вектора по его проекциям и пр.; 3) кривые – для расчёта профилей поверхностей, определения траекторий движения и т. д., задаваемых уравнениями кривых различных порядков.

**Пример физико-геометрической задачи.** Рассмотрим следующую задачу: «Мяч массой  $m$  и радиусом  $R$  катится по наклонной плоскости, составляющей угол  $\alpha$  с горизонтом, без скольжения (на него действует сила трения качения). Найдите конечную скорость мяча». На мяч действуют внешние силы: сила тяжести  $mg$ , сила трения  $F_{тр}$ , сила реакции со стороны плоскости  $N$ . Движение рассматриваем как поступательное со скоростью, равной скорости центра масс, и вращательное относительно оси, проходящей через центр масс. Уравнение для движения центра масс мяча представим как  $m\vec{a}_c = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{mp}$ , где  $a_c$  – ускорение поступательного движения центра масс  $C$ .

**Многоуровневая модель решаемой физико-геометрической задачи.** Многоуровневая компьютерная модель рассматриваемой ФГЗ представлена на рис. 1.

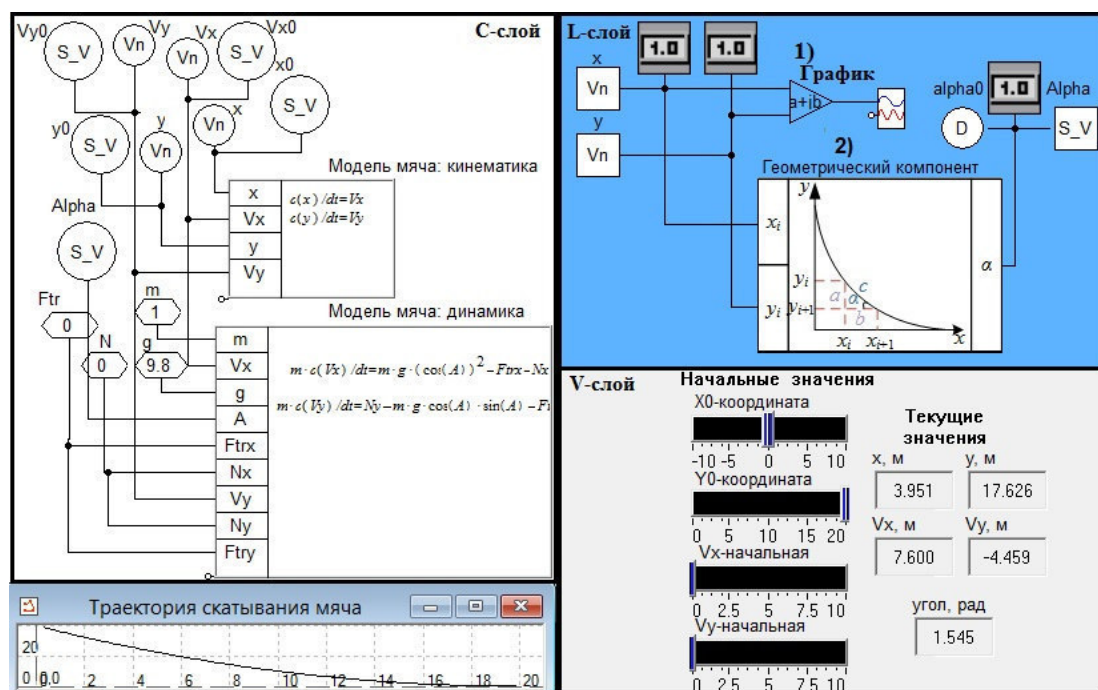


Рис. 1. Многоуровневая компьютерная модель ФГЗ с применением геометрического компонента

Как следует из рис. 1, на С-слое данной многоуровневой модели располагаются: 1) интерактивные математические панели «Модель шара: кинематика» и «Модель шара: динамика», описывающие процесс скатывания мяча системой дифференциальных уравнений; 2) компоненты-источники значений-констант («Ftr» – сила трения, «N» – сила реакции опоры, «g» – ускорение свободного падения, «m» – масса мяча) и значений, передаваемых с L-слоя («x0» и «y0» – начальные координаты, «Vx0» и «Vy0» – начальные скорости в проекциях, «Alpha» – угол скатывания); 3) компоненты «x» и «y» – измерители координат, передающие значения на L-слой. Все источники значений и измерители имеют одноимённые



отображения на L-слое для обмена данными между слоями многоуровневой модели.

На рис. 1 представлен фрагмент модели на L-слое: 1) подцепь, осуществляющая построение графика зависимости  $y(x)$ ; 2) подцепь, предварительно рассчитывающая угол наклона в текущей точке скатывания и передающая полученное значение на V-слой (для отображения) и C-слой (для расчёта модели). Отметим, что на рис. 1 на L-слое не отображаются подцепи, передающие данные между слоями.

Общая схема работы рассматриваемой модели такова: 1) на V-слое пользователь вводит исходные данные; 2) эти значения через L-слой передаются на C-слой; 3) на C-слое вычислительным ядром среды моделирования осуществляется расчёт текущей итерации модели, полученные значения координат мяча передаются обратно на L-слой; 4) с L-слоя эти значения передаются на V-слой для отображения пользователю (подцепь 1) и на вход геометрическому компоненту (подцепь 2); 5) имитационное ядро среды рассчитывает угол наклона поверхности и передаёт его в непрерывную модель задачи на C-слой (подцепь 2) на следующей итерации. Этапы 3–5 повторяются до окончания работы модели.

**Заключение.** Предлагаемый подход к моделированию ФГЗ предполагает декомпозицию решаемой задачи на физическую и геометрическую составляющие, что позволяет: 1) упростить модификацию модели (например, при усложнении профиля наклонной поверхности); 2) облегчить визуальное восприятие модели за счёт структурной декомпозиции компонентной цепи задачи; 3) повысить скорость и точность расчёта модели за счёт снижения её размерности вследствие предварительного решения нелинейных уравнений, содержащихся в геометрических компонентах; 4) упростить процедуру моделирования задачи, позволяя собирать модель из готовых блоков, дополняя необходимыми расчётами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочергин М.И. Учебно-иллюстративные модели физических задач в образовательном процессе // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIII Международной научно-практической конференции (29 ноября – 1 декабря 2017 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2017. – С. 114–117.
2. Дмитриев В.М., Филиппов А.Ю., Шарова О.Н. Метод многоаспектного анализа как алгоритм формализации задач по физике // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования. – 2005. – № 4. – С. 60–66.
3. Кочергин М.И., Кочергина К.С. Формализация текстовых условий задач по физике // Доклады ТУСУР. – 2016. – Т. 19. – № 1. – С. 65–68.
4. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Кочергин М.И. Многоуровневое моделирование задач физики // Современное образование: практико-ориентированные технологии подготовки инженерных кадров: материалы междунар. науч.-метод. конф., 29–30 января 2015 г., Россия, Томск. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2015. – С. 47–49.
5. Дмитриев В.М., Шутенков А.В., Зайченко Т.Н., Ганджа Т.В. МАРС – среда моделирования технических устройств и систем. – Томск: В-Спектр, 2011. – 277 с.
6. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В. Методика построения многоуровневых компонентных цепей для моделирования химико-технологических систем // Доклады ТУСУР. – 2017. – Т. 20. – № 3 – С. 98–102.

**МЕТОДИКА ДЕАНОНИМИЗАЦИИ АВТОРА ИСХОДНОГО КОДА НА ОСНОВЕ МАШИНЫ  
ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИЗНАКОВ**

А.В. Куртукова, А.С. Романов

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.С. Романов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: av.kurtukova@gmail.com

**TECHNIQUE FOR DEANONYMIZING THE AUTHOR OF THE SOURCE CODE WITH  
SUPPORT VECTOR MACHINE AND AUTOMATIC METRICS FILTRATION**

A.V. Kurtukova, A.S. Romanov

Scientific Supervisor: associate Professor, Ph. D. A.S. Romanov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,

Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: av.kurtukova@gmail.com

***Abstract.** The importance of identifying the author of the source code is due to the growing number of manifestations of cybercrime and plagiarism of the source codes of commercial products. This paper proposes a new technique for determining authorship with SVM, static metrics and a fast correlation filter.*

*The experiment was conducted on the corpus of authors writing in the most popular programming languages. Accuracy assessment was performed using 10-fold cross-validation. The proposed technique allowed us to achieve an identification accuracy of 91.2%.*

**Введение.** Идентификация автора исходного кода представляет собой задачу определения наиболее вероятного автора компьютерной программы на основе имеющихся образцов кода авторов-кандидатов. Полученные решения находят свое применение в области информационной безопасности, оценки качества образовательного процесса и защиты интеллектуальной собственности.

Наиболее популярные современные подходы к решению задачи деанонимизации автора исходного кода основываются на алгоритмах машинного обучения: наивном байесовском классификаторе [1], деревьях решений [2], машине опорных векторов (SVM) [3], нейронных сетях (НС) [4, 5] и др. Данная статья посвящена новому подходу на основе SVM, фильтра быстрой корреляции и набора статических метрик исходного кода.

**Экспериментальная часть.** В качестве инструмента для реализации SVM применялась библиотека LIBSVM [6]. Параметры обучения метода SVM были выбраны на основе рекомендаций [7]: тип SVM – многоклассовая классификация, алгоритм обучения – метод последовательной оптимизации, ядро – сигмоидальное, параметр регуляризации  $C = 1$ , допустимый уровень ошибки – 0,00001.

Признаковое пространство классификатора было сформировано из статических метрик и «запахов кода» [1], приведенных в табл. 1. Признаки, определяемые как «запахи кода», демонстрируют степень несоответствия программного кода парадигмам определенного языка и стандартным принципам разработки ПО, что может являться важным аспектом в рамках процесса определения авторства. Такие

признаки могут быть выделены в том числе в некомпilierуемых или неполных образцах исходных кодов, содержащих синтаксические или семантические ошибки.

Таблица 1

Признаки исходного кода, используемые в методике

Статические метрики	$emptylinesToLength = \frac{\text{число\_пустых\_строк}}{\text{длина\_кода}}$
<i>avgLineLength = средняя длина строк</i>	$spacesToLength = \frac{\text{число\_символов\_пробела}}{\text{длина\_кода}}$
$keyTuLength = \frac{\text{число\_ключевых\_слов}}{\text{длина\_кода}}$	$whiteSpaceRatio = \frac{\text{число\_символов\_пробелов}}{\text{число\_символов\_табуляции}}$
$tokenToLength = \frac{\text{число\_токенов}}{\text{длина\_кода}}$	<b>Признаки проблем кода</b>
$commToLength = \frac{\text{число\_комментариев}}{\text{длина\_кода}}$	$paramList = \text{среднее\_число\_параметров\_в\_методе}$
$litToLength = \frac{\text{число\_литералов}}{\text{длина\_кода}}$	$longMethod = \text{среднее\_число\_строк\_в\_методах}$
$macrosToLength = \frac{\text{число\_макросов}}{\text{длина\_кода}}$	$longMethShare = \frac{\text{число\_длинных\_методов}}{\text{общее\_число\_методов}}$
$funcToLength = \frac{\text{число\_функций}}{\text{длина\_кода}}$	$switchStat = \frac{\text{число\_операторов\_Switch}}{\text{общее\_число\_условных\_операторов}}$
$tabsToLength = \frac{\text{число\_символов\_табуляции}}{\text{длина\_кода}}$	$classMediator = \frac{\text{число\_делегующих\_методов}}{\text{общее\_число\_методов}}$

Для улучшения разделяющей способности все множество используемых признаков было обработано фильтром быстрой корреляции, позволяющим выделять подмножество наиболее информативных из них с помощью меры симметричной неопределенности:

$$SU(Y, X) = 2 \left[ \frac{H(X) - H(X|Y)}{H(X) - H(Y)} \right] = SU(Y, X), \quad (1)$$

Полученное значение входит в диапазон [0;1] и определяет зависимость признаков друг от друга.

В эксперименте были задействованы корпуса пользователей ресурса github.com, пишущих на наиболее популярных языках программирования. Общее количество образцов исходных кодов - 160 тысяч, средняя длина исходного кода 850 символов, размер корпуса – 542 автора.

**Результаты.** В качестве меры оценки точности применялась 10-фолдовая кросс-валидация. В экспериментах чувствовали корпуса размером 5, 10 и 20 авторов. Результаты представлены в табл.2.

Полученные результаты свидетельствуют о независимости точности идентификации от языка программирования, предпочитаемого автором. Увеличение количества авторов, участвующих в эксперименте, оказывает негативное влияние на разделяющую способность классификатора и влечет за собой падение точности идентификации.

Таблица 2

Результаты 10-фолдовой кросс-валидации

Язык	5 авторов	10 авторов	20 авторов
C++	88,1%	87,6%	87%
Java	90,5%	90%	86,2%
JS	89%	87,4%	80%
Python	90%	88,1%	85,2%
C	91,2%	86,6%	85%
C#	90%	87%	82,5%
Ruby	88,5%	82,7%	76%
PHP	91%	86%	84,3%

**Заключение.** Методика на основе SVM, фильтра быстрой корреляции и набора статических метрик исходного кода показала точность 91,2%, что стало возможным благодаря способности методики адаптироваться к определенному набору исходных данных за счет выявления фильтром быстрой корреляции наиболее информативных для конкретного случая признаков. Т.о. предложенная методика является эффективной для идентификации автора исходного кода.

В дальнейшем планируется усовершенствование методики с целью повышения её точности: внедрение алгоритмов глубокого обучения и расширение признакового пространства динамическими метриками (вызовы функции, объем выделяемой памяти и т.д.).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zia T., Ilyas M. Source Code Author Attribution Using Author's Programming Style and Code Smells // I.J. Intelligent Systems and Applications – 2017. – No. 5. – Pp. 27–33.
2. Caliskan-Islam A., Dauber E., Harang R. Git blame who? // arXiv preprint. – 2017. – arXiv:1701.05681.
3. Pellin B. Using classification techniques to determine source code authorship [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/f9aa/790191a50bed02a877e1696c7bb71ea9f33a.pdf> (дата обращения: 25.02.2019).
4. Abuhamad M., Mohaisen A., Nyang D. Large-Scale and Language-Oblivious Code Authorship Identification // Proceedings of the 2018 ACM SIGSAC. – Pp. 101-114.
5. Mohsen A.M., El-Makky N.M., Ghanem N. Author Identification using Deep Learning // Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications. – 2016. – Pp. 989–903.
6. Lin C.J., Weng R.C. Probability estimates for multi-class classification by pair-wise coupling // Journal of Machine Learning Research – 2004. – No. 5. – Pp. 975–1005.
7. Романов А.С. Разработка и исследование математических моделей, методик и программных средств информационных процессов при идентификации автора текста / А.С. Романов, А.А. Шелупанов, Р.В. Мещеряков. – Томск: В-Спектр, 2011. – 188 с.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОМАНД ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ СИСТЕМЫ УМНОГО ДОМА НА  
ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ**

В.С. Леонтьев

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А.Е. Петелин  
Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050  
E-mail: [leontev.vitaliy@stud.tsu.ru](mailto:leontev.vitaliy@stud.tsu.ru)

**IDENTIFICATION OF USER COMMAND OF SMART HOME SYSTEM IN THE NATURAL  
LANGUAGE**

V.S. Leontev

Scientific Supervisor: A. E. Pretlin  
Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050  
E-mail: [leontev.vitaliy@stud.tsu.ru](mailto:leontev.vitaliy@stud.tsu.ru)

***Abstract.** In this paper, a method for finding a user command in the knowledge base founded on semantic proximity was considered. Similarity determination was based on Google's Word2Vec technology, lemmatization was processed using PyMorphy 2.*

**Введение.** Понимание естественного языка для человека является обыденной задачей, с которой он сталкивается ежедневно. Однако для компьютерной обработки идентификация естественного языка до сих пор является нетривиальной задачей.

В статье описывается алгоритм идентификации команд к системе умного дома, построенных на естественном языке пользователя. На вход алгоритму поступает запрос пользователя в текстовом виде, его задачей является поиск схожего запроса в базе знаний, для которого уже имеется описанный алгоритм взаимодействия.

**Распознавание запроса.** Для формирования представления о всевозможных вариантах запросов пользователя был собран набор запросов на основе таковых для голосовых ассистентов, доступных на русском языке. В число таких ассистентов вошли: Siri от компании Apple, Google Assistant от компании Google и Алиса от компании Яндекс. В итоге был сформирован набор из 730 уникальных запросов на русском языке в естественной форме.

Анализ тренировочной выборки позволил выделить 2 основных класса запросов:

1. *Запросы с параметрами.* К таким запросом относятся те, у которых явно присутствуют параметры, например, даты, время, персоны.
2. *Запросы общего вида.* В таких запросах нет конкретных изменяемых параметров, которые необходимо было бы учитывать в процессе обработки.

Распознаванием *запросов общего вида* относится к задачам по построению вопросно-ответных систем. На вход таким системам попадает запрос. Системе необходимо найти наиболее похожий запрос из базы с тем, что поступил на вход.

Одним из способов вычисления схожести слов является поиск расстояния Левенштейна, то есть подсчет количества операций, необходимых для превращения одного слова в другое. Данный подход никак не учитывает контекстную информацию о слове, опираясь только на морфологические сходства слов. Для решения этой проблемы, применим технологию Word2Vec от компании Google. Она позволяет отобразить слово в многомерное пространство таким образом, что слова, которые чаще встречаются в одном контексте, оказываются ближе в этом пространстве, а слова, которые редко или вообще никогда не встречаются в одном контексте - дальше. Данный метод подходит для тех случаев, когда нет необходимости выделять из запроса конкретные параметры, то есть для типа *запросов общего вида*.

Для поиска схожего запроса в базе знаний применим этот инструмент для всего предложения. В итоге получим векторное представление запроса. На основе этого представления будем искать подобный запрос в базе знаний, воспользуемся формулой косинусной близости (1).

$$Similarity = \frac{A * B}{\|A\| \|B\|} \quad (1)$$

Применив данный алгоритм к следующему запросу: «Тепло ли мне сегодня одеваться?», необходимо найти запрос в базе знаний: «Надевать сегодня куртку?». Получаем список расстояний между входным запросом и всеми запросами в базе знаний (рис. 1).

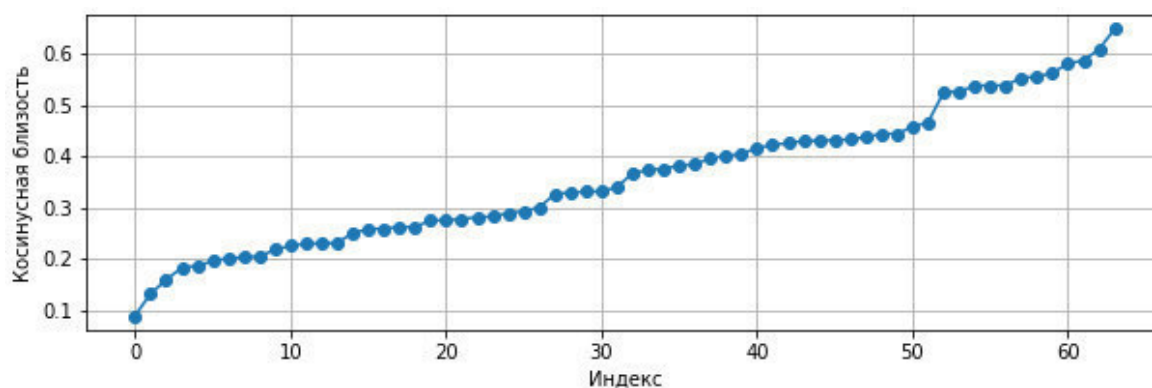


Рис. 1. Косинусная близость исходного запроса

Из рисунка 1 можно отметить, что самый близкий вариант находится на расстоянии 0.0897, что соответствует искомому запросу. Далее наблюдается небольшой скачок в расстоянии и более плотное расположение остальных вариантов. Для более точной идентификации искомого запроса (увеличения расстояния), сведем все слова к начальной форме. Это уберет расстояние между одинаковыми словами, находящимися в различной форме, т.к. для алгоритма Word2Vec одно слово в разной форме является различными словами. Для сведения слов к начальной форме воспользуемся морфологическим парсером Rymorphy 2 и применим его к ранее рассмотренному примеру. В дополнение уберем слова, которые не несут семантического смысла, только добавляют лишнее расстояние (стоп-слова). В результате работы алгоритма с приведенными выше дополнениями четко прослеживается расстояние между искомым запросом и остальными вариантами, и увеличена плотность между остальными запросами (рис. 2). Это позволяет с большей уверенностью говорить о правильности разбора.



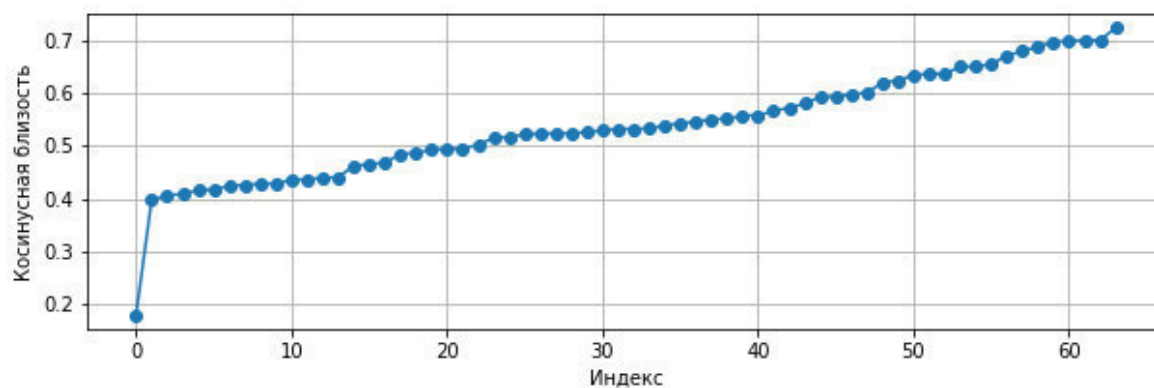


Рис. 2. Косинусная близость обработанного запроса

**Заключение.** В ходе исследования был предложен алгоритм поиска запроса в базе знаний на основе технологии Word2Vec. Были выявлены ключевые аспекты, влияющие на семантическую близость запросов, такие как наличие стоп-слов и морфологических форм слов в запросе. Результаты работы алгоритма демонстрируют высокое качество определения семантического сходства, включая сложные запросы с семантической точки зрения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левченко С. В. Разработка метода кластеризации слов по смысловым характеристикам с использованием алгоритмов Word2Vec //Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2017. – № 20 – С. 57-59.
2. Korobov M. Morphological analyzer and generator for Russian and Ukrainian languages //International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts. – Springer, Cham, 2015. – pp. 320-332.
3. Яцко В. А. Алгоритмы и программы автоматической обработки текста //Вестник Иркутского государственного лингвистического университета. – 2012. – № 1 (17) – С. 150-161.
4. Науменко А. М. и др. Разработка вопросно-ответной системы с нейросетевым обучением на базе современных свободных технологий //Иннов: электронный научный журнал. – 2017. – № 2 (31) – С. 7 - 15.

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОДБОРА ЦВЕТОВОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ  
РАБОТОСПОСОБНОСТИ СОТРУДНИКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЕГО ЭМОЦИОНАЛЬНОГО  
СОСТОЯНИЯ**

А.Д. Литвинова, И.Н. Ганиев

Научный руководитель: к.ф.-м.н. А.Е. Петелин

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

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

E-mail: [admit.lit@yandex.ru](mailto:admit.lit@yandex.ru)

**THE TECHNOLOGY OF COLOR SOLUTIONS SELECTION TO MAINTAIN THE HEALTH OF  
THE EMPLOYEE BASED ON THE ANALYSIS OF HIS EMOTIONAL STATE**

A.D. Litvinova, I.N. Ganiev

Scientific Supervisor: cand. of p.-m. s. A.E. Petelin

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

E-mail: [admit.lit@yandex.ru](mailto:admit.lit@yandex.ru)

***Abstract.** The paper deals with the problem of maintaining employees in working condition, presents the concept of technology matching the color and the mood of the user, considers its individual components, analyzes the impact of different color tones on the emotional state of a person and defines the boundary of the color scheme change (coefficient of emotions deviation)*

**Введение.** Одним из факторов успешности корпораций является эффективная работа сотрудников. Об эффективности сотрудника говорит его умение длительное время поддерживать свое работоспособное состояние, что является довольно трудной задачей, и не каждый может с этим справиться, т.к. на работоспособность влияет множество условий, основными из которых являются рабочая среда, монотонность выполняемых задач и усталость сотрудника.

Большинство компаний заинтересовано в поддержании работоспособности своих сотрудников и старается создавать максимально комфортные условия труда. Ведущие компании, например, такие как Google, Samsung, Apple и т.д. в последние несколько лет активно занялись улучшением рабочей среды, а именно разработкой умных рабочих пространств, так называемой концепцией «Smart Workspace» - гибко настраиваемой под каждого отдельно взятого сотрудника системой. В настоящее время, согласно отчетам 2018 года от исследовательской компании Gartner, технология «Smart Workspace» находится на пике кривой зрелости технологий Hype Cycle [1].

Одним из вариантов поддержания работоспособности сотрудника является цветовое оформление его рабочей области. Французский врач Ферре исследовал взаимосвязь производительности труда и цвета. Он установил, что при работе, рассчитанной на короткий срок, производительность труда увеличивается при красном свете, а при синем – снижается [2]. Но, в силу часто изменчивого настроения сотрудника за счет влияния на него различных факторов, подобное решение не может в полной мере контролировать эмоциональный баланс.

Основанная на концепции «Smart Workspace» технология подбора цветового решения «FaceSound» представляет из себя совокупность методов анализа эмоционального состояния пользователя и подбора необходимого цветового шаблона для поддержания его работоспособности. «FaceSound» в автоматическом режиме сканирует лицо пользователя и воспроизводит индивидуальные цветовые паттерны, регулирующие его эмоции.

**Экспериментальная часть.** Естественный пользовательский интерфейс (NUI) — это интуитивно понятный интерфейс. NUI понимает желания пользователя и видоизменяет интерфейс под выявленные потребности. По мнению специалистов, NUI будет основываться на интуитивности, прозрачности и необходимости [3]. Технология подбора цветового решения на основе анализа эмоционального состояния пользователя выполняет принципы NUI. Алгоритм подбора цветовых паттернов представлен на рисунке 1

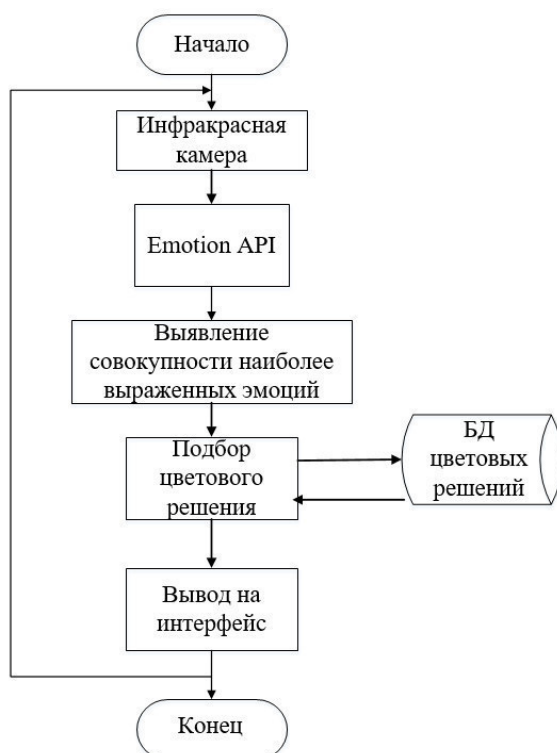


Рис. 1. Подбор цветового паттерна

Первым компонентом системы является инфракрасная камера. Использование инфракрасной камеры при сканировании лица пользователя позволяет получать более точные результаты при постоянном изменении положения его головы относительно неё. Инфракрасная камера может фиксировать такие детали исследования, как положение головы, наклон головы, положение левого и правого глаз относительно  $x$  и  $y$ .

Следующим компонентом системы «FaceSound» является программный модуль Emotion API. В связи с множеством преимуществ перед своими аналогами (динамический режим определения эмоции, режим реального времени), было выбрано отечественное ПО EmoDetect, которое определяет 7 базовых эмоций: радость, удивление, грусть, злость, страх, отвращение, нейтральность [4]. Числовые значения выявленных эмоций передаются в подсистему «Выявление совокупности наиболее выраженных

эмоций», в которой проводится оценка общего эмоционального состояния пользователя. На основе полученной оценки подсистема «Подбор цветового решения» выбирает из базы данных цветовых решений определенную уже имеющуюся цветовую схему или создает новую, если таковой не имеется. Функция вывода цветовой схемы на интерфейс осуществляется подсистемой «Вывод на интерфейс».

К эксперименту были привлечены представители 3 целевых групп: студенты, преподаватели и офисные работники. Анализ эмоционального баланса пользователя при взаимодействии с ПО в обычном режиме и в режиме накладывания цветового решения на нефункциональные поля существенно отличались. Было установлено, что показатель эмоционального баланса пользователя в режиме накладывания цветовой схемы более устойчив.

**Результаты.** Пример результата анализа эмоций представителя группы студентов в одном кадре (статический анализ): нейтральный – 0.01, радость – 0.90, удивление – 0.03, страх – 0.01, гнев – 0.02, отвращение – 0.01, грусть – 0,00.

Результат анализа показателей в динамике представляет собой сумму значений всех статических кадров. Смена цветовой схемы происходит при нарушении эмоционального баланса, выраженном коэффициентом отклонения эмоций  $\sigma > 15\%$ , который вычисляется по следующей формуле 1:

$$\sigma = (\varepsilon \times 100) / (\tau \times (\varepsilon - \delta)), \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – числовое значение эмоции;

$\tau$  – коэффициент выраженности доминирующей эмоции,  $\tau = 1$  при интервале от 30% до 50%,  
 $\tau = 2$  при интервале от 50% до 70%,  $\tau = 3$  при интервале от 70% до 100%;

$\delta$  – второй максимум - числовое значение эмоции (связанные эмоции).

**Заключение.** В результате проведенных исследований были подтверждены гипотезы влияния чистого цвета и его тональностей на эмоциональное состояние человека и был определен критерий смены цветовой схемы при нарушении эмоционального баланса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mike Walker. Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gartner.com/doc/3885468/hype-cycle-emerging-technologies->. (дата обращения: 10.01.2019)
2. Психогигиена / Под ред. Л.А. Богданович. – М.: Прогресс, 1979. – 176 с.
3. Dilman Salih. Natural User Interfaces, 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/776e/6a3d65c8778b72279099f103779fa86ad63c.pdf> (дата обращения: 11.01.2019)
4. EmoDetect – Распознавание эмоций по выражению лица [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://searchsoa.techtarget.com/definition/user-interface> (дата обращения: 15.01.2019)

## КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ГРИД СИСТЕМЕ

О.В. Лобанов

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.Ю. Дёмин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: [Lobanovov@tpu.ru](mailto:Lobanovov@tpu.ru)

## IMAGE CLUSTERING IN GRID COMPUTING

O.V. Lobanov

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. A.Yu. Demin

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

E-mail: [Lobanovov@tpu.ru](mailto:Lobanovov@tpu.ru)

**Abstract.** *This paper shows the feasibility of creating software that allows you to distribute the highload on the main features identification of images for their further clustering in grid computing systems.*

The task of the images-clustering was distributed in a three-element computing cluster. An image-clustering algorithm was k-mean with Euclidean distances. The results were compared with the results of running the algorithm on a single element. To assess the effectiveness, the scalable acceleration of the Gustafson law was calculated. The numerical values of acceleration exceed 2, which shows the expediency of using the considered approach in a similar class of problems.

**Введение.** Человек существует и взаимодействует с окружающим миром в течение всей своей жизни. Для восприятия мира он, как и любое другое живое существо, использует органы чувств. Создавая искусственные вычислительные системы по своему образу и подобию, людям приходится продумывать аналогичные механизмы восприятия и для них. Каждый объект или событие окружающего мира при обработке компьютером представляются моделью с необходимыми параметрами.

Современные суперкомпьютеры ежегодно бьют рекорды по производительности, но даже они не способны воспринимать картину мира во всей полноте, доступной человеку. Это ограничение вызвано множеством факторов, один из которых – признаки объекта реального мира, которые используются при создании и обработки модели внутри компьютера. В то же время вопрос доступности суперкомпьютеров для большинства желающих может оказаться нерешаемым в силу дороговизны обслуживания. Куда более доступным инструментом перевода объектов реального мира в компьютерную модель является персональный компьютер или небольшой личный виртуальный сервер.

В данной работе рассматривается целесообразность создания программного обеспечения, позволяющего распределить нагрузку по выявлению отличительных признаков у изображений для их дальнейшей кластеризации в грид-системах [1];

**Экспериментальная часть.** Задачу кластеризации набора изображений определим как необходимость разбиения набора изображений  $P$  на несколько групп  $N$  [2], по признаку  $S$ , тогда:

Принадлежность  $P_i$  к группе  $N_j$  (причем  $i > j$ ) будет определяться некоторой функцией принадлежности  $N_j = F_1(S_i)$ , где  $S_i$  – признак изображения  $P_i$ , полученный в результате применения функции  $F_2(P_i)$  к данному изображению.

В контексте данной работы под функцией принадлежности ( $F_1$ ) будет пониматься результат работы алгоритма кластеризации  $k$ -средних, где мера расстояния будет Евклидовым, а функция выделения признака изображения ( $F_2$ ) следующая:

$$S_i = \begin{pmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{pmatrix} / (pxsum_i),$$

где  $R, G, B$  – суммарное количество цветовых компонент всех пикселей изображения, а  $pxsum$  – количество пикселей в изображении.

Первым этапом кластеризации набора изображений является создание набора признаков всей выборки изображений, данная задача может быть распределена в вычислительном кластере.

С целью создания вычислительного кластера типа `grid` было разработано программное обеспечение на языке `C#` для использования в кроссплатформенной программной среде `.Net Core`.

Вычислительный кластер был развёрнут в двух сценария использования: на одной типовой машине и на трёх вычислительных элементах. Типовая конфигурация машины: 1 ядерный процессор с такой частотой 1 ГГц, 1 Гб ОЗУ и 10 Гб ПЗУ (HDD).

**Результаты.** Для каждого сценария проведены экспериментальные исследования с различным набором изображений, в таблице ниже представлены усредненные значения их 50 однотипных запусков. Под временем обработки понимается получение результатов выделения признаков изображения и применение алгоритма кластеризации к ним, в том числе включая все затраты на пересылку данных и другие непараллельные операции.

Таблица 1

Временные затраты на кластеризацию

Количество вычислительных элементов	Размер выборки, шт.	Время выделения признаков, сек	Время обработки, сек	Суммарное время, сек
1	60	1,122	0,734	<b>1,856</b>
3		1,342	0,789	2,131
1	120	1,462	0,791	2,253
3		1,408	0,801	<b>2,209</b>
1	240	2,054	1,002	3,056
3		2,006	1,039	<b>3,045</b>
1	500	2,442	2,073	4,515
3		2,112	2,114	<b>4,226</b>
1	1000	4,145	3,079	7,224
3		3,102	3,11	<b>6,212</b>



Дополнительно была рассмотрена количественная характеристика – масштабируемое ускорение, результат оценки закона Густафсона[3]:

$$speedup \leq p + (1 - p) \times s ,$$

где p означает количество ядер. Для упрощения записи s является процентом времени последовательного выполнения в параллельном приложении для указанного размера набора данных.

Таблица 2

Масштабируемое ускорение для каждой выборки

Размер выборки, шт.	Время выделения признаков, сек	Время обработки, сек	Суммарное время, сек	P	S	Speedup
60	1,122	0,734	1,856	1	0,395474	1
	1,342	0,789	2,131	3	0,370249	2,259503
120	1,462	0,791	2,253	1	0,351087	1
	1,408	0,801	2,209	3	0,362608	2,274785
240	2,054	1,002	3,056	1	0,32788	1
	2,006	1,039	3,045	3	0,341215	2,31757
500	2,442	2,073	4,515	1	0,459136	1
	2,112	2,114	4,226	3	0,500237	1,999527
1000	4,145	3,079	7,224	1	0,426218	1
	3,102	3,11	6,212	3	0,500644	1,998712

**Заключение.** Исходя из полученных данных о суммарном времени затрат на задачу по кластеризации изображений, можно судить о преимуществе подхода с использованием вычислений в грид-системе для выборок больше 60 изображений. Кроме того, масштабируемое ускорение больше единицы дополнительно указывает эффективность подобного подхода. По итогу можно говорить о возможности использования грид-вычислений в задачах по кластеризации изображений с целью распределения нагрузки и снижения временных затрат.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грид-система // Национальная библиотека им. Н. Э. Баумана Bauman National Library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.bmstu.wiki/Грид-система> (дата обращения 20.02.19).
2. Немировский В.Б., Стоянов А.К. Кластеризация изображений лиц // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 1. – С. 59-66
3. Оценка эффективности параллелизации // Intel Software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://software.intel.com/ru-ru/articles/predicting-and-measuring-parallel-performance> (дата обращения 22.02.19).

**ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ПОЛИПРОПИЛЕНЕ МЕТОДОМ ИСПАРЕНИЯ  
КЕРАМИЧЕСКОЙ МИШЕНИ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В ФОРВАКУУМЕ**А.В. Казаков, А.В. Медовник, А.В. Никоненко

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Е.М. Окс

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: [andrykazakov@gmail.com](mailto:andrykazakov@gmail.com)**FORMATION OF COATINGS ON POLYPROPYLENE BY THE EVAPORATION OF A CERAMIC  
TARGET BY A PULSE ELECTRON BEAM IN FOREVACUUM**A.V. Kazakov, A.V. Medovnik, A.V. Nikonenko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. E.M. Oks

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

E-mail: [andrykazakov@gmail.com](mailto:andrykazakov@gmail.com)

***Abstract.** The research of formation of ceramic coatings on polypropylene by evaporation of ceramic target by pulsed electron beam and deposition of ceramic vapors on the polymer in forevacuum pressure range is presented. The energy-dispersive spectra of the coatings on polypropylene have lines of elements corresponding to evaporated zirconium dioxide ceramic target, which confirms the formation of the coating. The microhardness of the coated polypropylene surface is higher than that of the original polymer surface.*

**Введение.** Широкое применение полимеров в различных отраслях промышленности обуславливает развитие методов их производства и обработки. Одним из методов обработки полимеров является поверхностная модификация [1, 2]. Поверхностная модификация металлических материалов часто обеспечивается путем создания на поверхности тонких покрытий, в частности керамических пленок [3, 4]. В тоже время механические и тепловые свойства полимеров существенно отличаются от свойств металлических материалов, что для полимерных материалов исключает или ограничивает применение существующих методов формирования покрытий на основе керамики.

Низкоэнергетичные форвакуумные плазменные источники обеспечивают генерацию импульсных и непрерывных электронных пучков в диапазоне давлений 3–100 Па, что позволяет осуществлять непосредственную обработку диэлектрических материалов (керамики, полимеры) [5]. Это открывает возможность для реализации метода создания керамических покрытий путем испарения керамической мишени пучком с последующим осаждением паров на поверхности полимера. При этом использование импульсного пучка может предотвратить нежелательный нагрев полимерной подложки от распыляемой керамической мишени. В связи с этим цель настоящей работы заключалась в исследовании формировании керамических покрытий на полипропилене методом испарения керамической мишени импульсным низкоэнергетичным электронным пучком в форвакуумном диапазоне давлений.

**Техника и методика проведения эксперимента.** Исследования осуществлялись на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1. Генерация импульсного электронного пучка *I* осуществлялась форвакуумным плазменным источником [6] 2. Источник

электронов 2 монтировался на вакуумной камере 3, откачиваемой форвакуумным насосом. Давление  $p$  рабочего газа (воздух) составляло 4 Па. Импульсный блок питания разряда 4 и высоковольтный блок постоянного ускоряющего напряжения 5 обеспечивали питание источника электронов 2. В экспериментах ускоряющее напряжение  $U_a$  было 9 кВ, ток  $I_e$  эмиссии электронного пучка составлял 20 А при длительности импульса  $\tau_d = 5$  мс и частоте  $\nu = 0,5$  Гц. Фокусирующая система 6, состоящая из двух катушек, обеспечивала увеличение плотности тока пучка. Электронный пучок фокусировался на мишени 7, которая размещалась в графитовом держателе 8. В качестве материала мишени использовалась циркониевая керамика ( $ZrO_2$ ), стабилизированная иттрием. Образцы 9 из полипропилена толщиной 1 мм и размерами  $20 \times 15$  мм<sup>2</sup> размещались на специальном металлическом держателе 10. Перед напылением полимерные образцы закрывались защитным экраном 11 и производилась очистка мишени 7 испарением ее поверхностных слоев. Затем защитный экран убирался, и осуществлялось напыление керамики на полипропилен. Характеристики полученных покрытий на полипропилене исследовались с помощью энергодисперсионного микроанализатора SwiftED и микротвердометра ПМТ-3.

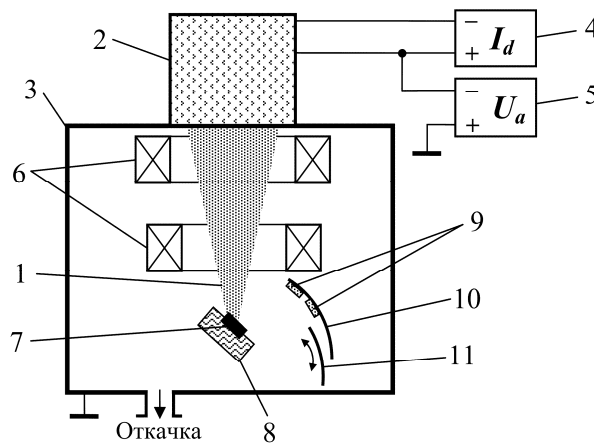


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

**Результаты эксперимента и их обсуждения.** На рис. 2 представлен энергодисперсионный спектр покрытия, полученного на полипропилене после распыления циркониевой керамики 100 импульсами электронного пучка. В энергодисперсионных спектрах образцов с покрытиями наблюдаются линии циркония (Zr) кислорода (O), а также в ряде образцов фиксировалось небольшое количество иттрия (Y). Наблюдаемые спектральных линии элементов соответствуют элементному составу распыляемой керамической мишени из оксида циркония, стабилизированного иттрием. Наличие в спектрах линий углерода (C) обусловлено полипропиленом, на который происходит напыление керамического покрытия.

На рис. 3 представлены результаты измерения микротвердости  $H_v$  по методу Виккерса для исходной поверхности полипропилена (1) и поверхности с керамическим покрытием (2) при различной нагрузке  $P$  на индентор. Установлено, что при наличии покрытия микротвердость  $H_v$  поверхности выше по сравнению с исходной поверхностью полипропилена.

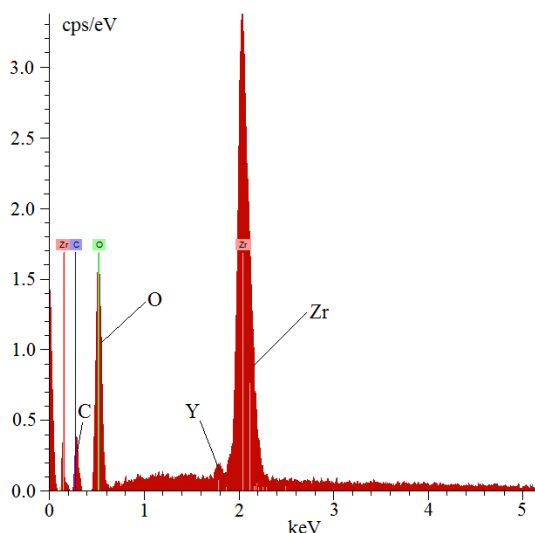


Рис. 2. Энергодисперсионный спектр покрытия на полипропилене

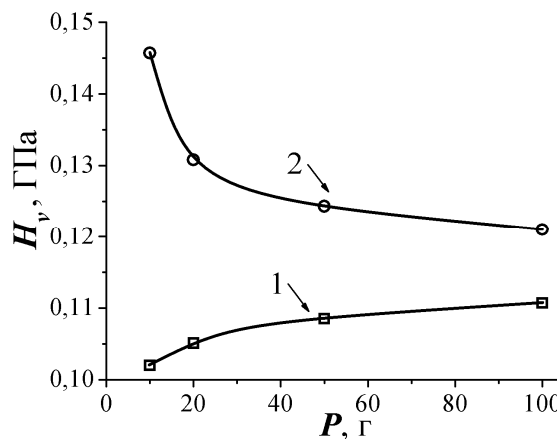


Рис. 3. Зависимость микротвердости  $H_v$  от нагрузки  $P$  на индентор для исходной поверхности (1) и полипропилена с керамическим покрытием (2)

**Заключение.** Проведены исследования возможности формирования керамических покрытий на полипропилене путем испарения керамической мишени импульсным электронным пучком с последующим осаждением паров мишени на полимере в форвакууме. В энергодисперсионных спектрах покрытий на полипропилене наблюдаются линии элементов, соответствующие основному элементному составу распыляемой керамической мишени из диоксида циркония. Установлено, что микротвердость поверхности полипропилена с покрытием выше, чем микротвердость исходной поверхности полимера.

Работа поддержана грантом РФФИ № 17-08-00239 А. Казаков А.В. является участником программы Министерства образования и науки РФ для научно-технических сотрудников на постоянной основе, проект № 3.8705.2017/7.8.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаров В.Г. Поверхностная модификация полимеров. – М.: МГУИ, 2008. – 474 с.
2. Hai T.A., Matsukuma H., Sugimoto R. Surface modification of polypropylene with poly (3-hexylthiophene) via oxidative polymerization // *Reactive and Functional Polymers*. – 2018. – V. 122. – P. 167–174.
3. Yerokhin A. L., et al. Oxide ceramic coatings on aluminium alloys produced by a pulsed bipolar plasma electrolytic oxidation process // *Surface and Coatings Technology*. – 2005. – V. 199, No. 2-3. – P. 150–157.
4. Guan Y., Xia Y., Li G. Growth mechanism and corrosion behavior of ceramic coatings on aluminum produced by autocontrol AC pulse PEO // *Surface and Coatings Technology*. – 2008. – V. 202 (19). – P. 4602–4612.
5. Бурдовицин В.А. и др. Опыт разработки и применения форвакуумных плазменных электронных источников // *Доклады ТУСУРа*. – 2016. – Т. 19, № 2. – С. 5–10.
6. Казаков А.В., Бурдовицин В.А., Медовник А.В., Окс Е.М. Форвакуумный импульсный плазменный источник электронов на основе дугового разряда // *Приборы и техника эксперимента*. – 2013. – № 6. – С. 50–53.

**COMPREHENSIVE REVIEW OF ROUTING PROTOCOLS IN WIRELESS ADHOC NETWORKS**

Zh. Nurlan, T.K. Zhukabayeva, M. Othman

Scientific Supervisor: PhD T.K. Zhukabayeva

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Astana, Satpayev str., 2, 010008

E-mail: [zhanserik.nur@gmail.com](mailto:zhanserik.nur@gmail.com)

**КОМПЛЕКСНЫЙ ОБЗОР ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ АДНОС  
СЕТЯХ**

Ж. Нурлан, Т.К. Жукабаева, М. Озман

Научный руководитель: PhD Т.К. Жукабаева

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2, 010008

E-mail: [zhanserik.nur@gmail.com](mailto:zhanserik.nur@gmail.com)

***Аннотация.** В статье изучены главные достоинства и характеристики маршрутизации в различных беспроводных сетях с переменной топологией (Social/ Sensor/ Mesh /VehicleNETs и тд.). В подробностях представлены индивидуальности нескольких протоколов маршрутизации (проактивные OLSR, реактивные AODV). Рассмотрен относительный ликбез протоколов маршрутизации в самоорганизующихся мобильных ad-hoc сетях. Кроме того, приведен пример моделирования работы протоколов маршрутизации: DSR, AODV, OLSR, LANMAR, OSPFv2, ZRP.*

**Introduction.** Nowadays, network technologies are developing very fast. The increasing amount of information transmitted (video, data, VoIP, etc), the physical growth of networks and inter-network traffic are forcing manufacturers to produce more and more powerful and “smart” devices that use new (created from scratch or based on combination with traditional) methods for transmitting and sorting data.

There are many types of wireless self-organizing networks with a variable topology, such as:

a) MANET (Mobile Ad-hoc NETworks) networks - radio networks having random mobile subscribers implementing fully decentralized control with no base stations or reference nodes.

b) Mesh network is a cellular radio network containing fixed wireless routers creating a wireless highway and a service area to mobile and fixed subscribers which have access (within a zone of radio communication) to one of the routers. Has a star topology, connecting support nodes randomly.

It should be added that, in some works, the standard 802. 11s, which is included in 802. 11 standard, is considered and it allows to implement hierarchical wireless ad-hoc networks with mobile and static nodes(mesh networks). The main individualities of the IEEE 802. 11s standard and routing protocols are analyzed in the publications [1]. The work [2] criticizes the performance of multichannel wireless networks of the IEEE 802. 11s mesh standard. In the work [3], authors work on improving the wireless mesh-network of the 802. 11s standard by doing modifications on metrics which allow setting the route efficiency.

c) WSN (Wireless Sensor NetWorks) - wireless sensor (telemetry) networks, consisted by compact sensor nodes with integrated monitoring functions of certain environmental parameters, processing and transmitting data via radio channels. Due to the task, they can be built as the topology of mesh, ad-hoc and MANET networks;

d) VANET automotive networks (Vehicle Ad-hoc NETworks) - vehicle communication networks.

e) And all sorts of hybrids of the above. They differentiate by their structure, purpose and elemental composition.

An example of the structure of the Ad-hoc network is shown in fig. 1.

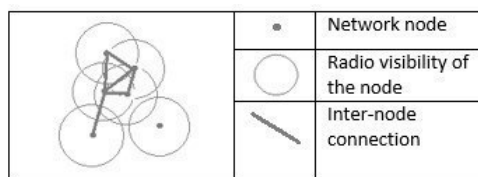


Fig. 1. Ad-hoc network structure example

Significant role in the work of wireless networks is assigned to routing protocols. They help to organize the self-organization of nodes and the delivery of packets by optimal routes in accordance with the algorithms listed in the protocol used in the network. Routing protocols optimize the use of network resources (power consumption, processor time, memory, etc.). This means that the use of effective routing protocols allows you to maximize the lifetime of the network.

Current existing routing protocols used for mobile self-organizing networks can be classified as following [4]:

**By the type of data used for routing:** a) Topological. Use information about existing network connections between network nodes. b) Geographical. Use data about the geographical location of nodes, usually obtained through satellite navigation, to predict the possibility or impossibility of communication between individual nodes and possible routes in a given network.

**According to the principle of work:** 1) protocols with proactive routing - Proactive or tabular(table-driven); 2) protocols with reactive routing - Reactive or working on request(on-demand); 3) hybrid protocols;

**According to the criterion for determining the optimality of the route:** a) Protocols of the distance vector (distance-vector, hop-count). Always consider the best route that contains the smallest number of hop (packet retransmissions) between the sender and the addressee. b) Protocols with a complex metric of routes or channel status protocols (link-state).

**By the presence of support for multiple routes to one destination:** 1. Single-track (single-path). When processing information about the network topology, these protocols select only one, the most optimal route to the destination and list it into their routing table. 2. Multi-track (multi-path). Unlike single-track ones, two or several optimal routes to the addressee are listed into the routing table.

Each class of protocols potentially has its own advantages and disadvantages when used in the conditions of mobile Ad-hoc networks.

For example: In proactive protocols, when a network topology is changed, a broadcast of messages about these changes is initiated. In this case, all routes are stored in the memory of each node and he can use them at any time. Proactive protocols include TBRPF, FSR and OLSR. In reactive routing protocols, routes exist only when they are needed. In other words, they are valid only during data transfer. Reactive routing protocols include AODV, DSR, LMR and TORA [5]. Hybrid protocols combine the mechanisms of proactive and reactive protocols. As a rule, they break the network into many subnetworks within which the proactive protocol functions, while the interaction between them is carried out by reactive methods.



**Conclusion and future work.** Thus, today there are many problems in the field of creating self-organizing wireless networks with a variable topology. One of the main problems and challenges are the routing problem and the definition of a specific routing protocol.

Below, as an example, the results of one such experiment, made in the simulator "QualNet Developer 4.5". The dependence of the packet delivery ratio (the ratio of the number of received packets with data to the number of transmitted packets) versus the network size was measured (see fig. 2):

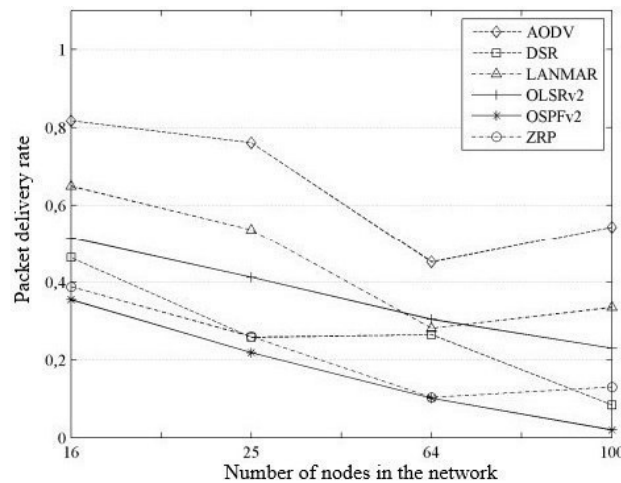


Fig. 2. Simulation results [6]

The presented graph allows you to quantify the work of the protocols, for example, to make sure that classic OSPF shows lower results in terms of mobile Ad-hoc networks than the routing protocols originally developed for them.

## REFERENCES

1. Liaqat, H. B., et al. (2019). Socially-Aware Congestion Control in Ad-Hoc Networks: Current Status and The Way Forward. *Future Generation Computer Systems*. vol. 97. pp. 634–660.
2. Althumali, H., & Othman, M. (2018, November 29). A Survey of Random Access Control Techniques for Machine-to-Machine Communications in LTE/LTE-A Networks / *IEEE Access*. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2018.2883440.
3. Zandiyan, S. & Somarin, A. M. (2018, July). A Reliable Based Multicast Approach Using by Fuzzy Logic System for Improvement QoS in Mobile Ad-hoc Networks. *Journal of Computers*. vol. 13 (7). pp. 862–875.
4. Jamali, S., & Fotohi, R. (2016). Defending against wormhole attack in manet using an artificial immune system. *New Review of Information Networking*, vol. 21. no. 2. pp. 79–100.
5. Sarkohaki, F., Fotohi, R., & Ashrafiyan, V. (2017). An efficient routing protocol in mobile ad-hoc networks by using artificial immune system. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*. vol. 8. no. 4. pp. 554–561.
6. Fotohi, R., Yaser E., & Mohammad, S. (2016). A new approach for improvement security against DoS attacks in vehicular Ad-hoc network. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. vol. 7. no. 7. pp. 10–16.

**КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
НЕЙРОННОЙ СЕТИ И ГРАФИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ**

А.С. Попов, И.Е. Меняйло, С.Г. Кузнецов

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.В. Обходский

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: asp5@tpu.ru

**CONTROL THE CONDITION OF DIGITAL SUBSTANCES OBJECTS USING NEURAL  
NETWORK AND GRAPHIC ACCELERATORS**

A.S. Popov, I.E. Menyailo, S.G. Kuznetsov

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. A.V. Obkhodkiy

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

E-mail: asp5@tpu.ru

***Abstract.** The paper deals with the problem of monitoring objects of digital substations, which consists in a large amount of data that must be processed. It is proposed to solve this problem by using the neural network as a mathematical model of control, and graphic accelerators as a platform for calculations. The experimentally obtained information confirms the appropriateness of the chosen solutions.*

**Введение.** Концепция построения цифровой подстанции (ЦПС) подразумевает использование средств и методов, позволяющих предоставить высокую точность параметров контроля текущего состояния объектов ЦПС, а также дать достоверный прогноз будущего состояния. Основной проблемой является большое количество входных данных, которые необходимо анализировать.

Для оценки технического состояния системы при проведении диагностики, пользуются диагностическими параметрами. Для того, чтобы выбрать конкретный параметр, оцениваются свойства, которыми он обладает в каждом конкретном случае технической эксплуатации системы: избыточность информации, достоверность информации и т.д. Практически используются сразу несколько параметров для диагностики одновременно по различным причинам: если узел технической системы обладает несколькими функциями, занимает важнейшее положение в системе, обладает высокой сложностью или большими габаритами и т.д. Также возможен случай, где число параметров может зависеть не от вида прибора, а от уровня развития методов диагностики в технической системе в целом. К примеру, бессмысленно устанавливать интеллектуальное устройство с цифровым выводом на подстанции, если этот вывод некуда подключить.

Оценка технического состояния электрической системы решает задачу оценки состояний отдельных узлов системы, на основе чего делается вывод об их работоспособности. Если состояния соответствуют требованиям, которые диктуют нормативные документы, то оборудование считается исправным, если нет – неисправным. Изготовление, испытания, монтаж, настройка, ремонт и эксплуатация могут сделать из исправного оборудования неисправное [1]. Все эти моменты должны каким-то образом учитываться на цифровой подстанции.

**Теоретическое исследование.** Поставленную проблему предлагается решить с помощью двух подходов, первый из которых – использование нейронных сетей для проведения необходимых расчетов.

Нейросетевая модель обладает достаточной гибкостью и быстродействием для применения практически на любой цифровой подстанции. Основным недостатком нейронной сети в данном случае является необходимость в обучении, при котором все равно нужно создавать достоверную модель цифровой подстанции. Однако использование нейросетей позволит значительно ускорить расчеты, поскольку основной ресурсозатратный процесс – обучение будет проведен до введения модели в эксплуатацию. Другим преимуществом нейронной сети является возможность проведения процедуры дополнительного обучения на реальном объекте с целью повышения точности моделирования.

Вторым подходом является использование графических ускорителей для проведения необходимых расчетов. Количество контролируемых параметров может достигать 38 только для трансформатора [2]. При этом цифровая подстанция состоит из многих компонентов, каждый из которых обладает определенными параметрами. При этом возникает проблема большого количества данных даже для нейросетевой модели, поскольку весь процесс моделирования должен происходить в условиях реального времени. Графические ускорители способны решить эту проблему, поскольку скорость вычислений при их использовании значительно увеличивается [3].

**Экспериментальная часть.** Экспериментальный стенд представляет собой сервер с процессором Intel Core i5 4460 и графическим ускорителем GeForce GTX 1070. Программная реализация нейронной сети для графических ускорителей производилась в программном пакете Nvidia Nsight Eclipse Edition с использованием библиотеки cudNN. Для процессора нейронная сеть создавалась и тестировалась в MatLab Simulink. Наборы статистических данных создавались с помощью доработанной модели, представленной в работе [4], составленной в MatLab Simulink. Объектом исследования являлся трансформатор.

Сначала было рассчитан массив с 1000 наборов напряжения на вторичной обмотке трансформатора. Наборы необходимы для обучения нейронной сети. Для наглядности преимущества использования графических ускорителей, обучение происходило последовательно со 100, 200, 400, 600, 800 и 1000 наборами с соответствующими замерами времени. Один набор представлял собой 1000 значений для одного периода колебания напряжения за 10 периодов до возможного выхода из строя. Каждому набору соответствовала температура наиболее нагретой точки трансформатора в момент начала считывания значений. Наконец, каждому набору из значений напряжения и температуры ставилось в соответствие число 0 или 1, что соответствовало работоспособности или неработоспособности трансформатора спустя 10 периодов. В итоге примерно в 50% случаев трансформатор выходил из строя. Для оценки работоспособности нейронной сети были созданы 10 аналогичных наборов.

**Результаты и обсуждение.** На обучение нейронной сети из всех 1000 наборов процессору понадобилось 3248,3 с, графический ускоритель справился с этой задачей за 18,7 с. Время, потраченное на обучение остальных вариантов, представлено на рисунке 1. Показано именно время обучения, а не время обработки, поскольку обработка со столь малым количеством данных происходит приблизительно одинаково.

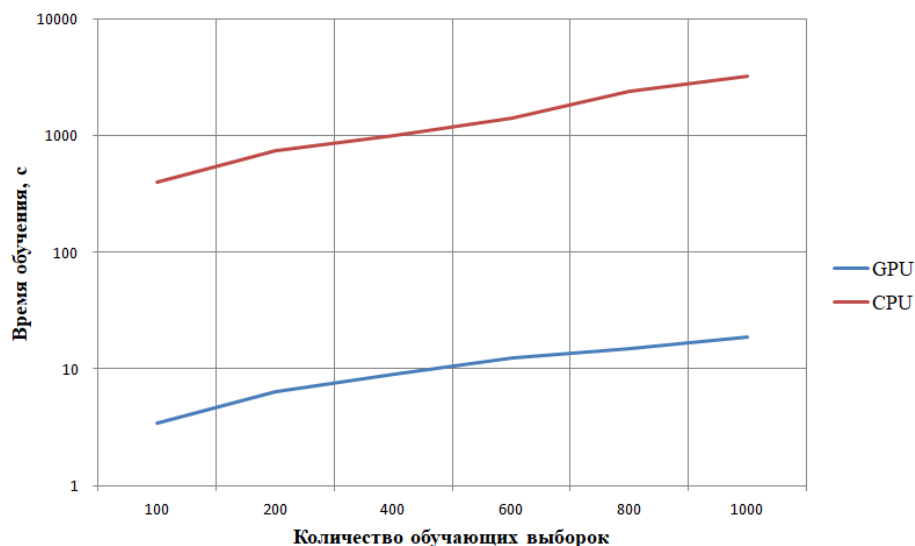


Рис.1. Сравнение времени обучения нейронной сети

Время анализа контрольных 10 наборов составило 0,07 сек. Верно предсказано 10 из 10 случаев.

Принцип распараллеливания расчетов обуславливает большую разницу во времени. Поскольку GPU обладает гораздо большим количеством ядер, чем CPU, расчеты происходят значительно быстрее.

**Заключение.** Эффективность использования нейросетевого анализа данных была экспериментально установлена, поскольку было верно предсказано 100% случаев. В совокупности со скоростью расчета на графических ускорителях это подтверждает перспективность использования выбранных подходов для проведения анализа данных на цифровых подстанциях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57818X0272.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
2. Вдовико В.П. Методология системы диагностики электрооборудования высокого напряжения // Электричество. – 2010. – № 2. – С. 14–20.
3. Dyachkov E.V., Kazaryan M.A., Obkhodskiy A.V., Obkhodskaya E.V., Popov A.S. & Sachkov V.I. Algorithm for Processing and Analysis of Raman Spectra using Neural Networks // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. – 2018. – Vol. 45. – № 11. – pp. 331–333.
4. Андреев М.В., Рубан Н.Ю., Суворов А.А. Математическое моделирование цифровой дифференциальной защиты трансформатора в среде Matlab Simulink // Энергетика. – 2018. – № 22. – С. 134–150.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ  
НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ IDEF0**

А.А. Христюбова

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.А. Шелупанов  
Акционерное общество «Центральное конструкторское бюро автоматики»,  
Россия, г. Омск, пр. Космический, 24А, 644027  
E-mail: [lab31@ckba.net](mailto:lab31@ckba.net)

**THREATS MODELING BASED ON FUNCTION MODELING IDEF0**

A.A. Khristolyubova

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A. A. Shelupanov  
Joint stock company “Central design bureau of automatics“  
Russia, Omsk, Kosmichesky pr., 24a, 644027  
E-mail: [lab31@ckba.net](mailto:lab31@ckba.net)

***Abstract.** In the present paper, was reviewed the use of threats modeling method based on functional modeling IDEF0 for solving the problem of formalizing the development of particular threat models based on the process approach and the presentation forms of information that should be protected.*

**Введение.** На сегодняшний момент одной из актуальных задач при проектировании систем защиты информации является обоснованное соотнесение реальных угроз безопасности информации со средствами и механизмами защиты информации нейтрализующими их [1]. В отечественном нормативно-правовом поле основной метод проведения испытаний на соответствие требованиям безопасности информации построен на принципах установления соответствия фактического состояния объектов защиты требуемому уровню защищенности с последующим фиксированием результатов с момента испытаний на определенный период времени. Владельцу процесса обработки информации, являющегося обладателем защищаемой информации, необходимо обеспечивать целый комплекс процедур при эксплуатации объекта информатизации. Таким образом, с точки зрения достижения цели защиты объекта информатизации, состоящей в предотвращении утечки информации по техническим каналам и защиты ее от несанкционированного доступа или непреднамеренного воздействия на нее, налицо конфликт частного целеполагания. Обладатель информации во время эксплуатации имеет дело с постоянно изменяющимися информационными процессами своего объекта, стараясь при этом сохранить требуемый уровень защищенности, когда задачей органа по аттестации наоборот является максимальная фиксация текущего состояния объекта защиты.

**Материалы и методы исследования.** Обработка защищаемой информации – это регулярно повторяющаяся последовательность действий, направленных на получение заданного результата с учетом соблюдения условий обработки, в том числе требований по защите информации. Основными аспектами модели информационных потоков при обработке защищаемой информации можно отметить:

– определение формы представления обрабатываемой информации, ее носителей – «вход»;

– формализация информационного процесса, непосредственно преобразования, которому подлежит защищаемая информация, – «функциональный блок»;

– регламентация процесса обработки (должностные инструкции, приказы, положения о подразделениях, формы документов) – «механизм»;

– управленческие воздействия со стороны обладателя информации, с определением конкретных ролей по отношению к выполняемым функциям – «управление»;

– предсказуемый и запланированный результат – «выход».

Наличие модели информационных потоков и информационных процессов, осуществляемых на объекте информатизации, является основой для количественной оценки рисков и эффективного поддержания заданного уровня защищенности. Изначально моделирование угроз безопасности информации независимо от выбранного метода моделирования строится на определении возможных последствий, вызванных деструктивным воздействием на объект защиты [2]. В роли субъекта защиты может выступать физическое или юридическое лицо, государство или же информационный ресурс. Использование в качестве базиса при построении формализованной модели угроз перечня информационных процессов обработки защищаемой информации позволяет учитывать форму представления и среду распространения информации [3]. Использование процессного подхода дает возможность зафиксировать преобразование формы представления защищаемой информации и впоследствии формализовать этот процесс. К настоящему времени разработаны многочисленные методологии моделирования бизнес-процессов. Одной из наиболее подходящих для функционального моделирования бизнес-процессов и глубоко разработанных нотаций моделирования (нотация является федеральным стандартом моделирования бизнес-процессов в США) является нотация IDEF0 как развитие метода функционального моделирования SADT, предложенная департаментом Военно-Воздушных Сил США в 1981 году [4]. Основываясь на функциональных блоках и интерфейсных дугах, язык моделирования IDEF0 обладает следующими основными отличительными характеристиками:

– к каждому функциональному блоку может быть применена декомпозиция. Процесс обработки защищаемой информации можно рассматривать так детально, насколько требуется;

– функциональный блок всегда имеет входной и выходной поток. Это позволяет описать качественное изменение информации, наиболее точно отразить форму преобразования данных;

– ресурсные интерфейсные дуги. Описывают механизмы обработки информации, с помощью чего информация меняет свое представление и форму;

– интерфейсные дуги управления. Позволяют учесть все ограничительные меры при обработке защищаемой информации (регламенты, правила и т. д.), что позволяет добиться наибольшей точности модели, а также избежать «неуправляемых» функциональных блоков.

Результатом применения IDEF0-нотации к процессу обработки информации является модель, состоящая из иерархически упорядоченного набора диаграмм, документации и словарей, связанных друг с другом с помощью перекрестных ссылок [5]. Элементам модели возможно установить вес и оценить вклад каждого фактора в несанкционированное воздействие на объект защиты. Детализировать модель можно настолько глубоко, насколько это необходимо для оценки всех воздействующих факторов, а также осуществлять выбор объекта защиты в зависимости от целей обработки информации.



**Результаты.** Детальность описания процесса обработки информации, основанная на стандарте IDEF0, позволяет построить функциональную модель, которая адекватна реальному миру и учитывает наиболее значимые факторы, воздействующие на информацию. Путем оценки факторов риска, которые несут в себе угрозы безопасности информации формируются итоговые значения факторов риска, характеризующие общий уровень угрозы, потенциально возможного ущерба и уязвимости объекта защиты (шкалы уязвимости) [6].

**Заключение.** Возможность использовать при построении модели угроз безопасности одной и той же процедуры обработки информации точек зрения позволяет создать многомерную модель всего процесса обработки информации с учетом различных источников угроз безопасности информации (аппаратных, программных и т.д.). Это позволяет выявить неявные ключевые факторы влияния на состояние защищенности в целом, а также учесть ключевые уровни модели OSI [7]. Таким образом, управленческие решения, принимаемые на основе созданной функциональной модели будут оптимизированы и выявлены объективные данные, свидетельствующие о ранее неизвестных дефектах процесса обработки защищаемой информации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелупанов А.А., Евсютин О.О., Конев А.А., Костюченко Е.Ю., Кручинин Д.В., Никифоров Д.С. //Актуальные направления развития методов и средств защиты информации Доклады ТУСУРа – 2017. – Т. 20., № 3. – С. 11–24.
2. Бондарь И.В., Кузнецов М.А., Паклина А.А., Золотарев В.В. Способ моделирования угроз безопасности автоматизированных систем в защищенном исполнении //Актуальные проблемы авиации и космонавтики – 2012. – Т.1, № 8. – С. 365-366.
3. Конев А.А. Подход к построению модели угроз защищаемой информации //Доклады ТУСУРа – 2012.– № 1-2 (25). – С. 34-39.
4. Верников Г. Основные методологии обследования организаций. Стандарт IDEF0. [Электронный ресурс].–Режим доступа: <https://www.cfin.ru/vernikov/idef/idef0.shtml>. (дата обращения: 29.01.2019).
5. Описание процесса оценки кредитоспособности юридических лиц коммерческим банком с использованием CASE-технологии // Известия ПГУ им. В.Г. Белинского–2011.–№ 24.–С. 340-346.
6. Миков Д.А. Выявление факторов информационного риска телемедицинской системе// Политехнический молодежный журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2016.– № 3. – С. 1-8.
7. Aleksey Novokhrestov, Anton Konev, Mathematical model of threats to information systems //AIP CONFERENCE PROCEEDINGS 13. Сер. "Prospects of Fundamental Sciences Development, PFSD-2016: Proceedings of the XIII International Conference of Students and Young Scientists" 2016 [Электронный ресурс].–Режим доступа: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4964595> ( дата обращения: 28.02.2019).

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ ЭМИССИОННОЙ ПЛАЗМЫ  
И ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА**

В.Т.Чан

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.С.Климов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),

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

E-mail: tranvantu1504@gmail.com

**INVESTIGATION OF THE COUPLING OF EMISSION PLASMA AND ELECTRON BEAM  
PARAMETERS**

V.T.Tran

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.S. Klimov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR),

Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: tranvantu1504@gmail.com

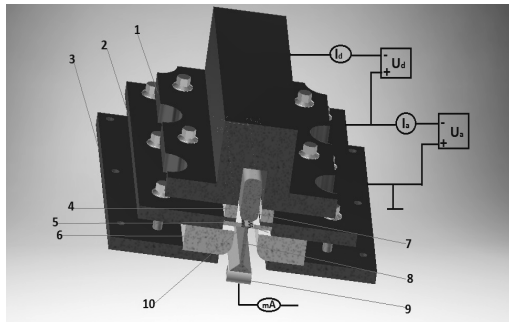
***Abstract.** The article presents the results of investigation of the coupling of emission plasma and electron beam parameters. It was shown that the accelerating voltage had a significant effect on the uniformity of the distribution of the density of the emission current of a ribbon electron beam.*

**Введение.** Плазменные технологии играют важную роль в процессах травления и очистки поверхности полупроводников, диэлектриков и металлов. В медицине плазму используют для стерилизации, синтеза биосовместимых покрытий, как источник рентгеновского излучения. Пучковую плазму возможно использовать для селективного разделения элементов и их стабильных изотопов. Сильнонеравновесную низкотемпературную плазму получают с помощью тлеющих, дуговых или СВЧ-разрядов. Данный метод получения плазмы хорошо отработан, но ему, тем не менее, сопутствуют некоторые трудности, например, узкий диапазон условий устойчивого горения разрядов, или сложность регулировки некоторых рабочих параметров [1]. Получение однородной плазмы большого объема при давлении порядка 10-100 Па также представляет сложность [2].

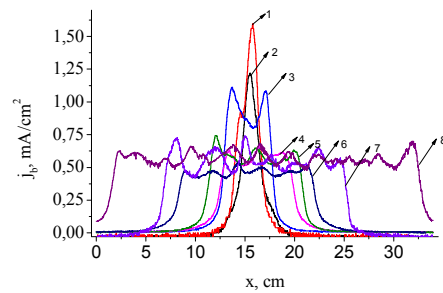
Метод инжекции электронного пучка в газовую среду с образованием пучковой плазмы в результате ионизации атомов и молекул имеет ряд преимуществ. В данном случае параметры электронного пучка не зависят от типа плазмообразующего газа, электронный пучок способен распространяться и создавать плазму при широком диапазоне давлений [3, 4]. Обычно источник электронного пучка пространственно отделён от места генерации плазмы. Это продиктовано давлениями в единицы и сотни паскаль, которые мешают работе источника электронов, но устанавливаются в объёме газа. Поэтому необходимо обеспечить техническую возможность проводить мощные электронные пучки из вакуума в газ [3] или использовать устройства для генерации пучков электронов при низких давлениях. Для работы в интервале давлений 1-100 Па используют форвакуумные плазменные источники электронов способные генерировать непрерывные пучки электронов с энергией 5 – 30 кэВ и током до 300 мА [5]. Меняя форму эмиссионной границы плазмы можно получать электронные пучки

различной конфигурации – узкофокусированные, широкоапертурные и ленточные. Использование ленточного пучка в отсутствие магнитного поля в пространстве дрейфа электронного пучка позволяет увеличить объём получаемой плазмы [6]. Большое значение имеют параметры электронного пучка – однородность, величина плотности тока, ускоряющего напряжения, а также давление и род газа, протяжённость участка транспортировки.

Целью работы являлось исследование факторов, влияющих на однородность генерации пучковой плазмы и повышение плотности тока генерируемого электронного пучка.



*Рис. 1. Схема экспериментальной установки:  
 1 – полый катод; 2 – анод; 3 – ускоряющий электрод; 4,6 – изоляторы; 5 – полированные пластины; 7 – плазма тлеющего разряда;  
 8 – электронный пучок; 9 – измерительный зонд;  
 10 – эмиссионная сетка*



*Рис. 2. Распределение плотности тока пучка вдоль эмиссионного окна в аноде при его ширинах: 1- 2 см, 2- 4 см, 3- 6 см, 4- 8 см, 5- 10 см, 6- 15 см, 7- 20 см, 8- 30 см  
 Ускоряющее напряжение  $U_a$ : - 2 кВ,  
 Ток разряда 400 мА, давление 7 Па*

**Схема и методика проведения эксперимента.** Схема экспериментальной установки представлена на Рис. 1. Ширину эмиссионного в аноде можно было изменять от 2 до 30 см за счет перекрытия щели специальными вставками 10. Изменение ширины эмиссионного в аноде позволяло изменять ширину, электронного пучка, генерируемого плазменным источником и определять оптимальные геометрические размеры пучка. В экспериментах ширина эмиссионного в аноде составляла 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20 и 30 см (по направлению z). Для измерения распределения плотности тока использовался сконструированный измерительный зонд 5. Зонд состоял из защитной металлической трубки диаметром 12 мм и длиной 20 см с продольной прорезью для прохождения электронов пучка. Внутри трубки устанавливались керамическая изолирующая трубка и приемная медная трубка. В каждой из трубок изготавливалась продольная прорезь. Трубки фиксировались таким образом, чтобы электроны пучка при прохождении через продольную прорезь шириной 1 мм собирались внутренней поверхностью медной трубки, сигнал с которой подавался на измерительный резистор и регистрировался осциллографом Tektronix TDS 2004B.

**Результаты эксперимента.** На рис. 2 представлены распределения тока пучка на измерительном зонде, перемещаемого вдоль эмиссионного окна в аноде. Зонд располагался на фиксированном расстоянии от электронного источника - 7 см. Координата X отсчитывалась от края катодной полости. При малой ширине эмиссионного окна вид распределения подобен гауссовому. Начиная с размера окна в 8 см, максимум в распределении практически исчезает и появляется характерное для ленточного пучка «плато», содержащее несколько максимумов.

Количество максимумов зависит от ширины эмиссионного окна, а их величина от ускоряющего напряжения. На рис. 3 представлены зависимости плотности эмиссионного тока от величины ускоряющего напряжения.

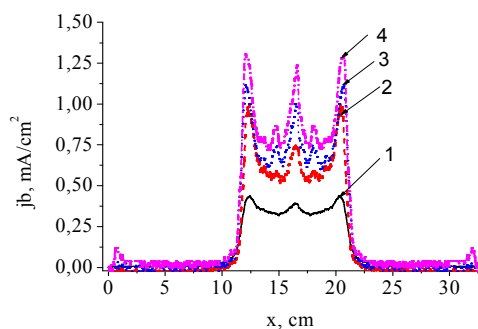


Рис. 3. Распределение плотности тока пучка вдоль эмиссионного окна в аноде при ширине окна 8 см, ускоряющее напряжение  $U_a$ : 1 - 2 кВ; 2 - 4 кВ; 3 - 6 кВ; 4 - 7 кВ. Ток разряда 400 мА, давление 7 Па

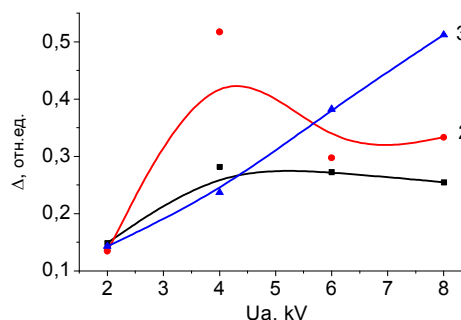


Рис. 4. Относительное отклонение от средней величины плотности тока в продольном распределении. Ток разряда 400 мА, давление 7 Па

Рост ускоряющего напряжения приводит к обострению локальных неоднородностей (рис. 4), положение которых оказывается достаточно постоянным в пределах эмиссионного окна. Наибольшее отклонение тока от среднего значения наблюдается при ускоряющем напряжении 4 кВ, величина максимумов в распределении при этом достигает половины среднего значения.

**Закключение.** В результате исследования эмиссии из плазмы тлеющего разряда с протяженным полым катодом показано, что на однородность распределения плотности эмиссионного тока ленточного электронного пучка существенное влияние оказывает величина ускоряющего напряжения.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования в рамках базовой части проекта №3.9605.2017/8.9.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлин, Е.В. Плазменная химико-термическая обработки поверхности стальных деталей / Е.В. Берлин, Н.Н. Коваль, Л.А. Сейдман. – М.: Техносфера, 2012.
2. Akhmadeev Y.H., Denisov V.V., Koval N.N., Kovalsky S.S., Lopatin I.V., Schanin P.M., Yakovlev V.V. / Generation of uniform low-temperature plasma in a pulsed non-self-sustained glow discharge with a large-area hollow cathode // Plasma Physics Reports. – 2017. – Vol. 43(1). – P.67.
3. Васильев М.Н. Применение электронно-пучковой плазмы в плазмохимии // Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Под ред. В.Е. Фортова. Т. XI. М.: Наука, – 2001. – С. 436-445.
4. Бычков В.Л., Васильев М.Н., Коротеев А.С. Электронно-пучковая плазма. Генерация, свойства, применение. - М.: МГОУ, – 1993.
5. Bakeev I.Yu., 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 Sci. Technol. – 2018. – Vol. 27. – P. 075002.
6. Ribbon electron beam formation by a forevacuum plasma electron source // A.S. Klimov, V.A. Burdovitsin, A.A. Grishkov, E. M. Oks, A.A. Zenin, and Yu.G. Yushkov // Plasma Phys. Rep., – 2016. – vol. 42, no. 1. – pp. 96–99.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАЩИТЫ ОТ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОЙ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ**

Е.Б. Черникова

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.М. Заболоцкий  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050  
E-mail: [chiernikova96@mail.ru](mailto:chiernikova96@mail.ru)

**INVESTIGATION OF POSSIBILITY OF PROTECTION AGAINST ULTRASHORT PULSE  
USING THE REFLECTION SYMMETRIC MEANDER LINE**

E.B. Chernikova

Scientific Supervisor: Prof., Doctor of Science in Engineering A.M. Zabolotsky  
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin ave., 40, 634050  
E-mail: [chiernikova96@mail.ru](mailto:chiernikova96@mail.ru)

***Abstract.** In the article results of the research of reflection symmetric meander line for protection radio-electronic equipment against ultrashort pulses are presented. The simulation of time response of two schematic diagrams of half-turns is performed. The results of the work are useful for further researches on the protection against ultrashort pulses.*

**Введение.** В настоящее время наблюдается массовое внедрение радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) практически во все отрасли, в том числе в системы радиолокации, телевидения и радиосвязи. Это ведёт к обострению проблемы обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) из-за уязвимости аппаратуры к электромагнитным воздействиям. Одним из направлений ЭМС является защита от мощных сверхкоротких импульсов (СКИ) [1], воздействие которых может быть губительно для РЭА, особенно для критичной. Для защиты РЭА от СКИ предлагается использовать модальные фильтры (МФ) и меандровые линии, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными устройствами защиты (отсутствие полупроводниковых компонентов, как следствие высокая радиационная стойкость, долгий срок службы, функционирование при высоких напряжениях, малые габариты и низкая стоимость). Существуют различные конфигурации таких структур, в том числе многопроводные микрополосковые МФ [2], меандровые одновитковые и двухвитковые [3] линии, зеркально-симметричные МФ [4]. Между тем до сих пор в качестве устройства защиты не рассматривалась конфигурация зеркально-симметричной меандровой линии. Данная структура представляет собой зеркально-симметричный МФ, соединенный перемычками двумя способами. Таким образом, целью работы является исследование возможности разложения СКИ в зеркально-симметричной меандровой линии.

**Структуры и схемы для исследования.** Для анализа зеркально-симметричной меандровой линии для начала целесообразно выполнить квазистатическое моделирование двух схем соединения полувитков длиной  $l = 1$  м (рис. 1). Нагрузки на концах проводников  $R = 50$  Ом.

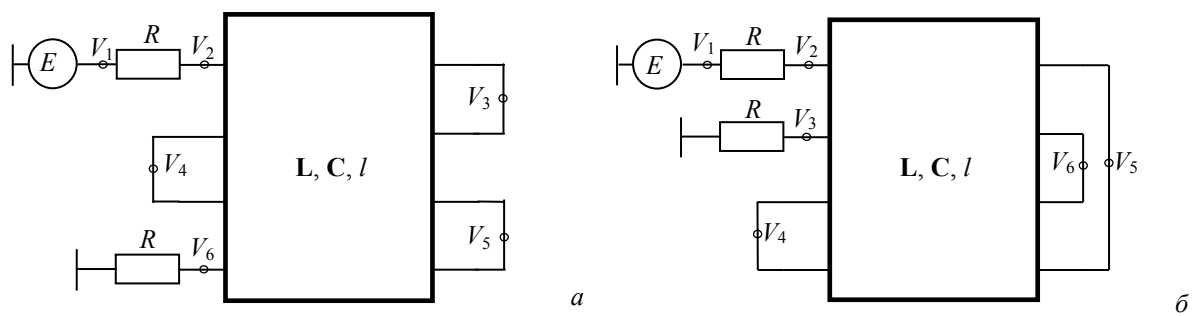


Рис. 1. Схемы соединения полувитков № 1 (а) и № 2 (б)

Вычисление параметров линий и форм сигнала, посредством квазистатического анализа, выполнялось в программном продукте TALGAT [5]. Допускалось, что в рассматриваемых линиях распространяется только Т-волна. Потери в проводниках и диэлектриках на данном этапе исследования не учитывались. В качестве импульсного воздействия использовался источник ЭДС с амплитудой 5 В с длительностями фронта, спада и плоской вершины по 50 пс, так что общая длительность составила 150 пс (рис. 2а). Поперечное сечение указанных структур представлено на рис. 2б, где  $w$  – ширина проводников,  $s$  – расстояние между проводниками,  $t$  – толщина проводников,  $h$  – толщина диэлектрика,  $\epsilon_r$  – диэлектрическая проницаемость подложки.

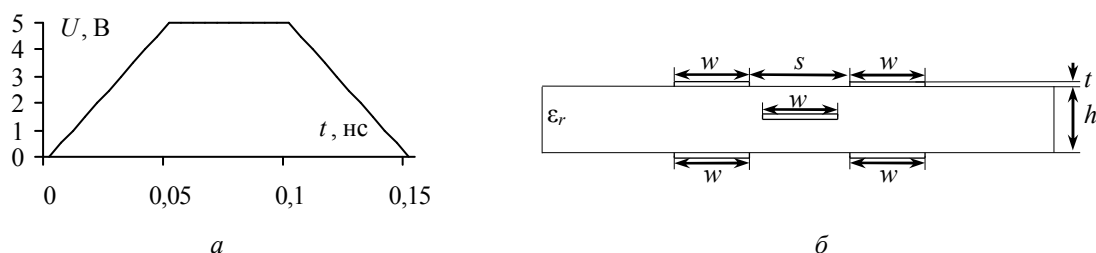


Рис. 2. Форма ЭДС (а) и поперечное сечение зеркально-симметричной меандровой линии (б)

**Результаты моделирования.** Моделирование выполнялось при параметрах, полученных в работе [4]. Результаты моделирования временных откликов двух схем соединения полувитков зеркально-симметричной меандровой линии представлены на рис. 3.

В табл. 1 приведены значения погонных задержек импульсов разложения и значения этих задержек, умноженных на 2 и 4, так как время прихода импульсов на входе и выходе зеркально-симметричной линии кратны двум и четырем погонным задержкам.

Таблица 1

Значения погонных задержек импульсов

$N$	$\tau_1$ , с/м	$\tau_2$ , с/м	$\tau_3$ , с/м	$\tau_4$ , с/м
1	0,54698e-8	0,59591e-8	0,64746e-8	0,69687e-8
2	1,09398e-8	1,19183e-8	1,29493e-8	1,39376e-8
4	2,18795e-8	2,38366e-8	2,58987e-8	2,78752e-8

На рис. 3а и 3б наблюдаются импульсы отрицательной полярности для входного и выходного сигналов с задержками, кратными двум погонным задержкам для двух схем соединения полувитков



(рис. 1а и 1б соответственно). Между тем на рис. 3б среди импульсов с задержками, кратные четырем погонным задержкам, наблюдаются импульсы с задержками не кратные погонным. Также можно предположить, что такие импульсы существуют и для схемы, представленной на рис. 1а, это можно судить по возрастанию суммарной амплитуды второго и третьего импульсов, кратных четырем погонным задержкам из-за их наложения.

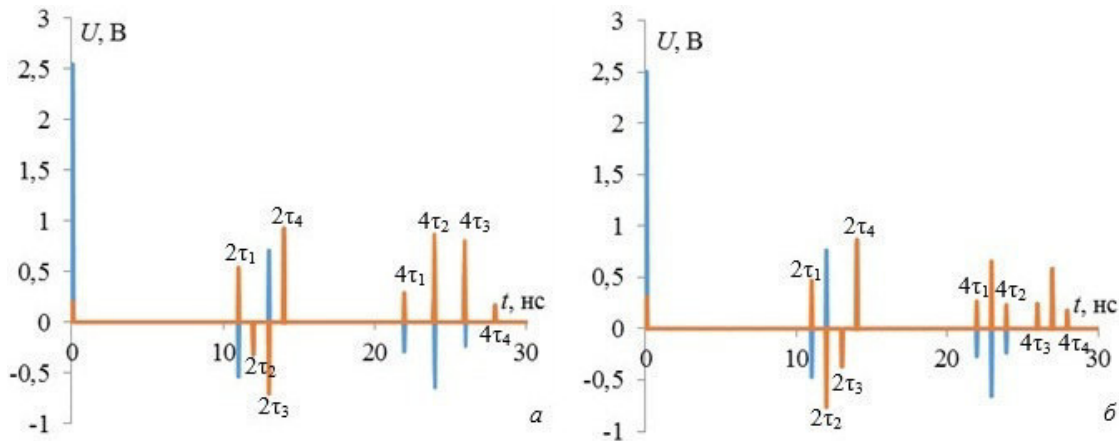


Рис. 3. Формы напряжения на входе (—) и выходе (—) зеркально-симметричной меандровой линии для схем соединения полувитков № 1 (а) и № 2 (б)

Таким образом, в работе показана возможность разложения СКИ в зеркально-симметричной меандровой линии. Детальный анализ результатов моделирования временного отклика полезен и будет выполнен в дальнейшем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mora N., Vega F., Lugin G., Rachidi F. Rubinstein M. Study and classification of potential IEMI sources // System and assessment notes. – Note 41. – 8 July 2014.
2. Belousov A.O., Zabolotsky A.M., Gazizov T.T. Experimental confirmation of the modal filtration in four- and five-conductor microstrip lines // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM. – Russia, Altai, 2017. – P. 46–49.
3. Nosov A.V., Surovtsev R.S., Gazizov T.R. Ultrashort Pulse Decomposition in Meander Microstrip Line of Two Turns // 2018 Siberian Symposium on Data Science and Engineering. – Novosibirsk, Akademgorodok, Russia, 2018. – P. 79–83.
4. Белоусов А.О., Черникова Е.Б., Заболоцкий А.М. Трехкритериальная оптимизация как ресурс для совершенствования зеркально-симметричного модального фильтра // Материалы 23-й международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (Сибресурс-23-2017)». – Томск, 2017. – С. 150–154.
5. Куксенко С.П. и др. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2(36). – С. 45–50.

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СВЧ МИС  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАССИФИКАТОРА НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНОГО  
ПЕРСЕПТРОНА

Б.В. Ширяев, А.В. Безрук

Научный руководитель: начальник отдела НИИ полупроводниковых приборов, к.т.н. А.Ю. Ющенко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов

Россия, г. Томск, ул. Красноармейская, 99а, 634034

E-mail: [shiryaev\\_bv@niipp.ru](mailto:shiryaev_bv@niipp.ru)

ALGORITHM FOR AUTOMATED VISUAL CONTROL OF MMIC USING A CLASSIFIER BASED  
ON MULTILAYER PERCEPTRON

B.V. Shiryaev, A.V. Bezruk

Scientific Supervisor: head of department of Research Institute of Semiconductor Devices,

Ph.D. A.Yu. Yushchenko

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

Research Institute of Semiconductor Devices, Russia, Tomsk, Krasnoarmeyskaya str., 99a, 634034

E-mail: [shiryaev\\_bv@niipp.ru](mailto:shiryaev_bv@niipp.ru)

***Abstract.** The work is dedicated to the problem of visual inspection in production of monolithic microwave integrated circuit (MMIC). The article deals with automatic visual control using computer vision and neural networks. The neural network classifies each pixel of a microphotograph of MMIC. The result is compared with the photomask and it is concluded about defectiveness of MMIC. Thus, the visual inspection effectiveness of MMIC is increased without loss of quality of detection of defects.*

**Введение.** Визуальный контроль при производстве СВЧ МИС заключается в контроле качества изготавливаемых устройств по их внешнему виду с использованием специальных оптических приборов [1]. Изготовленное устройство по визуальному признаку оценивается в нескольких категориях, наиболее важные из которых точность повторения фотошаблона устройства, качественный анализ поверхностей элементов СВЧ МИС и отсутствие повреждений и загрязнений. В результате анализа степени дефектности выносится общий вердикт о годности устройства СВЧ МИС по внешнему виду.

Современные масштабы выпуска монолитных интегральных схем и полупроводниковых приборов настолько огромны, что визуальный контроль отнимает большое количество времени и требует значительных усилий со стороны контролирующего оператора. Длительная работа по осуществлению визуального контроля приводит к чрезмерной утомляемости зрения оператора и снижению качества контроля. Отсутствие отечественного программного обеспечения, которое могло бы решить поставленную задачу, определяет актуальность данной работы.

Автоматизация визуального контроля заключается в создании программного продукта, который увеличивает скорость и качество распознавания дефектов СВЧ МИС. Для сохранения интеллектуального

уровня распознавания дефектов в алгоритме используются технологии компьютерного зрения и искусственные нейронные сети.

Нейронные сети – современный подход к решению большого числа задач. Их работа схожа с работой нервной системы живых организмов и основана на принципе выявления зависимостей из входных данных и принятии решения на их основе. Нейронной сети, как упрощённой математической модели нервной системы, присущи преимущества интеллектуальных систем – решение сложных вычислительных задач в результате обучения. На каждом этапе своего обучения нейронная сеть стремится снизить ошибку своих расчётов, опираясь на примеры. Таким образом, нейронные сети способны проводить визуальный контроль, при этом ускоряя и облегчая работу оператора без потери качества распознавания дефектов [2].

**Экспериментальная часть.** Процесс автоматизированного визуального контроля СВЧ МИС осуществляется на основе микрофотографий СВЧ МИС, полученных в автоматическом режиме полуавтоматической зондовой станции. Так же алгоритм использует файл векторного чертежа фотошаблона, который непосредственно используется при изготовлении СВЧ МИС.

Процесс автоматизированного визуального контроля СВЧ МИС заключается в последовательном выполнении следующих этапов над исходными микрофотографии и чертежом фотошаблона:

- 1) производится поиск 2х точек совмещения на микрофотографии СВЧ МИС, заранее указанных в алгоритме визуального контроля. Процесс происходит методом шаблонного поиска ранее указанной области опорной микрофотографии в области интереса (ROI) текущей микрофотографии;
- 2) расчёт масштаба, положения и состояния векторного чертежа фотошаблона, используя найденные точки совмещения;
- 3) растрезация векторного чертежа фотошаблона с заливкой областей для определения функциональной принадлежности каждого участка чертежа фотошаблона;
- 4) расчёт микрофотографии классификатором на основе обученной нейронной сети. Каждый пиксель микрофотографии подаётся на вход нейронной сети с предварительной нормализации значения каждой компоненты RGB пространства в диапазон 0-1. Входной слой используемой нейронной сети представлен 3 нейронами для каждой компоненты RGB пространства, количество нейронов выходного слоя соответствует количеству функциональных областей фотошаблона с запасом для некоторых областей (некоторые функциональные области имеют различные цветовые области). Таким образом отсутствует потери цветовой информации микрофотографии. В результате расчёта получается карта принадлежности участков микрофотографии той или ной функциональной области СВЧ МИС (рис. 1);
- 5) вычисление минимального пиксельного расстояния каждого участка карты принадлежности до участка той же принадлежности растрезированного чертежа фотошаблона с учётом заменимости областей (некоторые области микрофотографии могут иметь цветовое сходство с другими областями, не являясь в свою очередь дефектом). Вычисление производится методом поиска ближайшего пикселя той же принадлежности на растрезированном чертеже фотошаблона;
- 6) определение степени дефектности каждого участка микрофотографии применяя пороговое преобразование. Для каждой функциональной области заданы отдельные допустимые пороги, таким образом определяется значимость каждой функциональной области. Полученные значения представляют собой маску дефектов;

- 7) анализ маски дефектов, вынесение вердикта о годности СВЧ МИС.

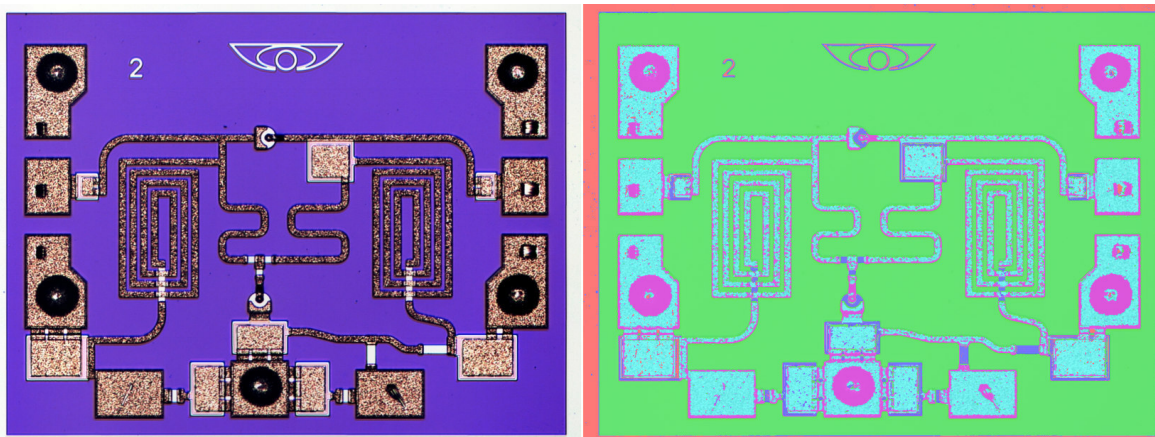


Рис. 1 – Микрофотография СВЧ МИС и карта классифицированных пикселей

**Результаты.** Для проверки пригодности описанного алгоритма разработано тестовый программный продукт. Архитектура нейронной сети, используемая в основе алгоритма, имеет 1 и более скрытых слоёв для достижения гибкости классификации. Количество скрытых слоёв и количество нейронов в каждом из них подбирается с учётом сложности СВЧ МИС, палитры микрофотографии и оптимальной скорости расчёта. Для теста использовалась нейронная сеть с 4 слоями: 1 входной слой с 3 нейронами (количество компонентов RGB пространства), 2 входных слоя по 10 нейронов в каждом и выходной слой с 5 нейронами (количество идентифицируемых областей микрофотографии: область подложки, область SiO<sub>2</sub>, область 2-го уровня металлизации, область электролитически осаждённой металлизации в местах сквозного травления для заземления, область 1-го уровня металлизации).

В результате тестирования программного продукта алгоритм показал свою эффективность: скорость визуального контроля увеличивается в 5 раз, а точность контроля составляет 93%.

**Заключение.** Рассмотренный в данной статье алгоритм автоматизированного визуального контроля позволяет с высокой достоверностью определять дефектные СВЧ МИС благодаря использованию многослойного персептрона в качестве классификатора областей микрофотографии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Груздов, В.В. Контроль новых технологий в твердотельной СВЧ электронике / В.В. Груздов, Ю.В. Колковский, Ю.А. Концевой. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 328с.
2. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин; пер. с англ. Н.Н. Куссуль, А.Ю. Шелестова. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.

## РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПО РАСПОЗНАВАНИЮ НОТ

А.Ю. Якимук, М.Д. Холопов

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: [yay@keva.tusur.ru](mailto:yay@keva.tusur.ru)

## DISTRIBUTED SOFTWARE COMPLEX FOR RECOGNITION OF NOTES

A.Yu. Yakimuk, M.D. Kholopov

Scientific Supervisor: Associate professor, PhD, A.A. Konev

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

E-mail: [yay@keva.tusur.ru](mailto:yay@keva.tusur.ru)

***Abstract.** The purpose of this work is to develop a distributed software web complex for the definition of notes in vocal performance. A new approach to the storage of data on the results of the tasks was formed. The resulting complex was tested on the data used in the study before.*

**Введение.** В наши дни существует множество приложений, предназначенных для записи различных музыкальных исполнений, но лишь немногие из них обеспечивают возможность определять ноты музыкальных исполнений, в частности, вокальных. Сервисы, которые имеют возможность определять ноты, предусматривают использование конкретных алгоритмов для определения нот без возможности замены на иные. Целью данной работы является модификация программного комплекса по распознаванию нот для включения возможности удаленно производить исследования вокальных исполнений и применять различные алгоритмы для распознавания нот.

**Внесение данных в базу.** Ключевым изменением в программном комплексе [1] стал переход к использованию баз данных [2]. По мере того, как пользователь записывает аудиофайл в клиентской части приложения, происходит процесс преобразования аудиофайла. Были определены требования к файлам – длительность не более 5 секунд, формат .wav.

Преобразование аудиофайла в формат base64 для последующего хранения в базе данных производится при помощи встроенного метода JavaScript – btoa(). Для того, чтобы декодировать base64 строку на сервере, необходимо аналогично использовать стандартный метод atob() применительно к необходимой строке [3].

Для определения нот в аудиофайле применяется интегрированная в проект библиотека, которая реализует фильтрацию, определяет вокализованные и невокализованные участки, определяет частоту основного тона и сопоставляет полученные частоты нотам, после чего выдает на выходе строку в формате Abc, если ноты были найдены. Для отображения нот используется библиотека Abc.js, которая принимает на вход строку, содержащую названия нот [4]. Пример отображения нот с помощью библиотеки представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Отображение нот с помощью библиотеки Abc.js

Добавление в базу данных состоит из следующих этапов:

1. Сервер принимает файл в случае его соответствия требованиям с клиентской части посредством HTTP-запроса;

2. Выполняется скрипт, записывающий полученную информацию в базу данных.

При разработке проекта к front-end части был применён компонентный подход. Благодаря данному подходу в решении появляется читаемость, возможность быстрого и верного рефакторинга с отсутствием возможности утери работоспособности приложения.

Взаимодействие с сервером со стороны front-end реализовано с помощью технологии HTTP Requests. Данный вид работы с сервером обеспечивается как встроенными методами javascript, так и при помощи различных библиотек, предназначенных для данных целей, одной из которых является библиотека axios. Для поддержки масштабируемости и расширяемости, которую обеспечивает компонентный подход – работа с данными на front-end производится в специальном хранилище – Vuex storage [5]. Общаются, как и локальные данные, так и данные получаемые с сервера, а также производится обработка запросов на сервер.

**Результат.** В результате внесенных изменений пользователь получил возможность загрузить аудиофайл или записать его. После того, как пользователь запишет или загрузит аудио – данный файл преобразуется в base64 и отправится на сервер, рисунок 2.

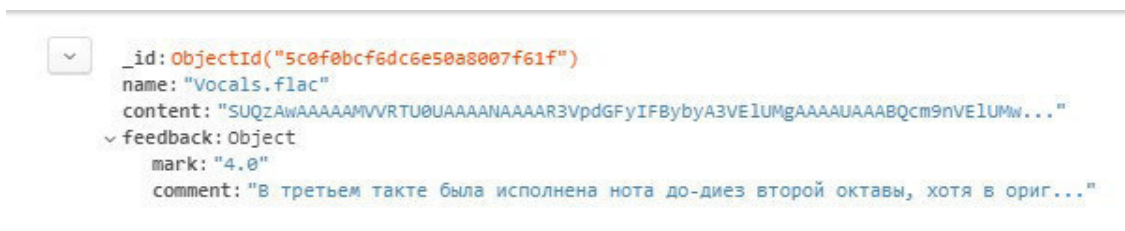


Рис. 2. Полученная запись с аудио

По факту отправления аудио пользователем, его ментор сможет увидеть в списке своих «учеников» данного пользователя, и при раскрытии формы сможет загрузить аудиофайл, выставить



оценку и оставить отзыв. В свою очередь, пользователь, получив отзыв от ментора сможет увидеть его во вкладке «Мои аудио», рисунок 3.

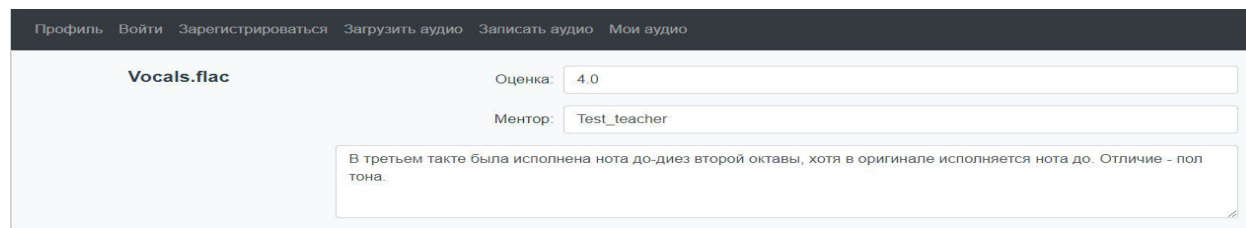


Рис. 3. Отзыв для пользователя

С целью проверки правильности работы системы сервис был протестирован на предмет успешности интеграции библиотеки определения нот, на той же тестовой выборке, что была использована при первоначальном тестировании библиотеки [6]. Было воспроизведено 113 нот, 55 из которых были спеты женским голосом, а 58 – мужским. Неверно было определено 9 нот, следовательно, точность определения нот – 92%, что совпадает с точностью работы библиотеки при ее оригинальном тестировании, в связи с чем можно сделать вывод об успешности интеграции библиотеки.

**Заключение.** Переход к распределенной модели программного комплекса сделал возможным интеграцию новых библиотек, реализующих распознавание нот для исследования вокальных исполнений без переработки исходного кода программы. Такой подход может стать более эффективным в модели обучения вокальному мастерству с использованием применяемых в работе алгоритмов за счет возможности внесения новых данных без утери возможности работы с предыдущими. Это достигается разделением модулей ответственных за хранение данных и за обработку аудиофайла. Данное изменение позволит менять алгоритм идентификации нот без влияния на остальные части комплекса с целью определения оптимальных параметров, способствующих повышению качества распознавания нот.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Konev A., Kostyuchenko E., Yakimuk A. The program complex for vocal recognition // Journal of Physics: Conference Series. – Volume 803, Number 1. – 012077. – p. 0.12077.
2. Якимук А.Ю., Конев А.А., Осипов А.О. Программный комплекс для автоматизации моделирования сегментации речевых сигналов и вокальных исполнений // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. – № 10 (129). – С. 53-64.
3. Nodejs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nodejs.org/en/> (дата обращения 04.01.2019).
4. Abcjs – Javascript for rendering abc music notation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://abcjs.net> (дата обращения 11.01.2019)
5. Vuex [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vuex.vuejs.org/guide/> (дата обращения 10.01.2019).
6. 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.

## ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

[САЕ «Институт «Умные материалы и технологии»](#) Национального исследовательского Томского государственного университета приглашает дипломированных специалистов пройти программу повышения квалификации

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПОЛУЧЕНИИ И ИССЛЕДОВАНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Направление 04.00.00 «Химия», 72 ч.

#### **Модульная структура обучения:**

**Модуль 1:** Новые подходы в получении и исследовании функциональных материалов

**Модуль 2:** Методы исследования структуры, состава и физико-химических свойств функциональных материалов

#### **Профессиональные компетенции, формируемые в результате обучения:**

- способность проводить научные исследования по сформулированной тематике, самостоятельно составлять план исследования и получать новые научные и прикладные результаты (ПК-1);
- владение теорией и навыками практической работы в избранной области химии (ПК-2);
- готовность использовать современную аппаратуру при проведении научных исследований (ПК-3);
- способность участвовать в научных дискуссиях и представлять полученные в исследованиях результаты в виде отчетов и научных публикаций (стендовые доклады, рефераты и статьи в периодической научной печати) (ПК-4).

Обучение в рамках образовательной программы реализуют ученые с высокой научной квалификацией из ведущих научных организаций РФ и зарубежья. Практическая часть курса проводится с использованием современного аналитического и исследовательского оборудования Томского регионального центра коллективного пользования и на базе структурных подразделений [САЕ «Институт «Умные материалы и технологии»](#).

## КОНТАКТЫ

**Руководитель программы:** Курзина Ирина Александровна, д.ф.-м.н., профессор кафедры физической и коллоидной химии ХФ, директор [САЕ «Институт «Умные материалы и технологии»](#), e-mail [kurzina99@mail.ru](mailto:kurzina99@mail.ru).

**Координатор программы:** Мицкевич Юлия Сергеевна, менеджер учебного офиса [САЕ «Институт «Умные материалы и технологии»](#), e-mail [yanson1@mail.ru](mailto:yanson1@mail.ru).

## АДРЕС

Россия, Томская обл., 634028, г. Томск, ул. А. Иванова, 49 (химический факультет ТГУ). Запись по [ссылке](#).

Научное издание

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК**

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

**Том 7. IT-технологии и электроника**

**Издано в авторской редакции**

Компьютерная верстка *С. А. Поробова*

Зарегистрировано в Издательстве ТПУ  
Размещено на корпоративном портале ТПУ



**Издательство**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ