

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Том 7. IT-технологии и электроника

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

22–25 апреля 2025 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

Volume 7. IT-technologies and Electronics

Abstracts

XXII International Conference of students, graduate students
and young scientists

April 22–25, 2025



Национальный
исследовательский
**Томский
государственный
университет**



**ТОМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МЕДИЦИНСКИЙ ЦЕНТР**
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



**ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Томск 2025

УДК 501:004(063)
ББК 72:32.81.л0
П27

Перспективы развития фундаментальных наук : сборник трудов XXII Между-
народной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 22–25 апреля
П27 2025 г.) : в 7 томах. Том 7. IT-технологии и электроника / под ред. И.А. Курзиной,
Г.А. Вороновой. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2025. –
155 с.

ISBN 978-5-4387-1262-6 (т. 7)

ISBN 978-5-4387-1255-8

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

Предназначен для студентов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей, спе-
циализирующихся в области интеллектуальных систем управления, автоматизирован-
ных систем обработки информации и управления, информационной безопасности,
наноэлектроники, получения и исследования наноматериалов, оптоэлектроники и нано-
фотоники, плазменной эмиссионной электроники, интеллектуальной силовой электро-
ники, СВЧ электроники, систем радиолокации, телевидения, радиосвязи, радиометрии и
распространения волн радиочастотного и акустического диапазонов, а также импульс-
ных и радиочастотных измерениях.

УДК 501:004(063)
ББК 72:32.81.л0

Редакционная коллегия

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

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

С.А. Поробова.

ISBN 978-5-4387-1262-6 (т. 7)
ISBN 978-5-4387-1255-8

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Электрически управляемый оптический спектральный фильтр на основе мультиплексированных многослойных неоднородных КПЖК дифракционных структур <i>Ю.А. Алтухов, Д.М. Чубаров, Д.С. Растрьгин, С.Н. Шарангович</i>	6
Спектральные зависимости показателя поглощения в кристаллах LiNbO₃:Cu <i>А.Е. Апасьева, Ч.Б. Будуева, А.Х. Салчак, А.Я. Чащина</i>	9
Исследование инициирования магнетронного разряда в форвакуумном плазменном источнике электронов <i>В.Е. Аркатов, А.В. Казаков, Н.А. Панченко</i>	12
Влияние конфигурации ускоряющего промежутка на ток эмиссии в форвакуумном плазменном источнике электронов <i>В.Е. Аркатов, А.В. Казаков, А.В. Тюньков</i>	15
Механизмы защиты от replay attack для сетей fanet в среде моделирования NS-3 <i>Д.А. Баранов, А.А. Конев</i>	18
Квази-ШИМ преобразователи постоянного напряжения <i>Д.Н. Бондаренко</i>	21
Зависимость возникновения мод в цилиндрическом волноводе от его радиуса и частоты сигнала <i>К.Э. Вагайцев</i>	24
Электронно-лучевая пайка алюмооксидной керамики с титаном <i>С.М. Верхаланцев, С.А. Ендурев, К.С. Ларин</i>	27
Экспериментальное исследование четырехслойной зеркально-симметричной структуры в дифференциальном режиме <i>С.В. Власов, М.С. Мурманский</i>	30
Предиктивное управление сложными технологическими системами на базе цифровых двойников <i>В.И. Горохов, А.Д. Рязанов</i>	33
Влияние разряда на нагрев эмиссионного электрода форвакуумного плазменного источника ленточного пучка электронов <i>Ж.Э. Дагри, А.В. Долгова</i>	36
Влияние геометрии фокусирующей системы плазменного источника электронов на диаметр пучка в форвакуумной области давлений <i>А.В. Долгова, А.А. Зенин</i>	39
Fraud detection using Kolmogorov-Arnold Network <i>N.T.G. Zeitoio</i>	42
Исследование фотостойкости наночастиц диоксида кремния для применения в пассивных системах терморегулирования космических аппаратов <i>В.А. Горончко, С.П. Иваничко, С.А. Юрьев</i>	45
Решение задачи сегментации фотографических изображений новорождённых с помощью нейронной сети <i>М.Е. Исаева</i>	48
Обеспечение безопасной загрузки встраиваемого программного обеспечения на изолированных устройствах <i>Е.О. Калинин, Д.С. Беляков, Д.С. Брагин</i>	51
Влияние электронно-лучевой обработки на шероховатость поверхности керамики на основе диоксида циркония, армированного оксидом алюминия <i>Г.А. Касьянов, А.А. Лыман, А.Е. Петров</i>	54
Обзор методов искусственного интеллекта в заводнении нефтяного месторождения <i>А.С. Коробко, Т.Т. Газизов</i>	57
Методы и средства автоматизация моделирования угроз и атак <i>П.И. Кузнецова, Д.М. Мусин</i>	60
Концепция системы поддержки принятия решений для управления психологическим климатом в коллективе <i>А. Кулик, К.С. Некрасов, И.Д. Варанкин</i>	63
Частная модель жизненного цикла процесса разработки локальной документации организации и угрозы информации <i>Т.Д. Леоненко, С.С. Якимовец</i>	66

4 XXII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

Влияние электронно-лучевой обработки на шероховатость керамики из диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия <i>А.А. Лыман, Г.А. Касьянов, А.Е. Петров</i>	68
Оптимизация скользящего режима управления для квадрокоптера с использованием алгоритма ZSO <i>С.З. Май</i>	71
Цифровая схема управления источником-измерителем для тестирования фотонных интегральных схем с помощью интерфейса SPI <i>М.А. Мотовилов</i>	74
Анализ характеристик дифференциальной линии передачи в виде внутренней спирали <i>М.С. Мурманский, С.В. Власов</i>	77
Электронно-лучевая переплавка поверхности стали с использованием форвакуумного источника <i>Л.Ж. Нгон А Кики, А.А. Зенин, Ф.А. Суховольский</i>	80
Стабилизатор температуры для магнита и образцов с терморегулятором портативного ПМР-релаксометра <i>Д.А. Нгуен</i>	83
Исследование зависимости сопротивления толстых пленок от шероховатости при аддитивной технологии изготовления <i>Н.С. Нефедов В.А. Сокуренько</i>	86
Структура поверхности циркониевой керамики после обработки импульсным электронным пучком в форвакуумной области давлений <i>А.Е. Петров, В.Е. Аркатов, А.В. Казаков</i>	89
Автоматизированное выявление признаков шизофрении и депрессии по аудиозаписи интервью с пациентом <i>А.Д. Псарев, У.В. Савина, Д.А. Петкун</i>	92
Colibri field data bus Server: dynamic GUI generation and scalable virtual emulation for HART/Colibri devices <i>R.V. Pushkarskiy, V.A. Belski</i>	95
Совмещение DWG-файлов и системы NanoCAD <i>И.И. Рак, Я.В. Зайченко, Р.О. Леонтьев</i>	98
Подход для подавления эффектов Фабри-Перо в газовой измерительной абсорбционной ячейке, используемой в абсорбционной ТГц спектроскопии. Экспериментальное исследование <i>Г.К. Распопин</i>	101
Разработка системы компьютерного зрения для распознавания грибов <i>Agaricus bisporus</i> <i>П.С. Руднев, Е.В. Николаева</i>	104
Системный аналитик как ключевая роль в обеспечении безопасности IT-проектов <i>Д.Р. Белкова, М.А. Рудникович</i>	107
Архитектуры высокопроизводительных систем обработки больших данных для интеллектуального мониторинга промышленного оборудования <i>А.Д. Рязанов, В.И. Горихов</i>	110
Классификация эмоций с помощью моделей глубокого обучения: оценка точности и статистический анализ <i>У.В. Савина, А.Э. Першина, А.Д. Псарев</i>	113
Виртуальный прибор для измерения ФМР магнитных материалов <i>Р.Ш. Сайидкулов</i>	116
Влияние содержания оксида иттрия на характеристики YSZ покрытий <i>С.А. Сальников, А.А. Андронов</i>	119
Оценка риска возникновения профессионального выгорания сотрудника: постановка задачи <i>Т.С. Симонов, А.Г. Тишаева, Ю.П. Ехлаков</i>	122
Исследование электропроводности углеродных пленок на основе анализа низкочастотного шума <i>В.А. Сокуренько</i>	125
Влияние режимов напыления наноразмерных пленок ИТО на их электрофизические и оптические характеристики <i>А.С. Терехова</i>	128
Экспериментальное исследование зеркально-симметричной структуры с электромагнитным поглотителем <i>В.А. Трубченинов, С.В. Власов</i>	131

Исследование возможностей ускорения расчета рассеянных радиоволн <i>Ю.А. Уланова, А.О. Сафонова, В.В. Маркин</i>	134
Разработка виртуального анализатора качества системы усовершенствованного управления в нефтегазовой отрасли <i>А.В. Уфимцев</i>	137
Кинетика изменений оптических свойств при облучении электронами порошка CaSiO_3, модифицированного наночастицами Gd_2O_3 <i>М.М. Михайлов, Д.С. Федосов, А.Н. Лапин</i>	140
Интеллектуальная система освещения на основе IoT и компьютерного зрения <i>П.В. Шачнева</i>	143
Моделирование процесса формирования затвора транзистора с высокой подвижностью электронов по технологии GaN Sidewall Dielectric Spacers <i>А.Е. Шестериков, Д.А. Шестерикова</i>	146
Рассмотрение возможности использования deepfake генерации аудио данных в качестве состязательной атаки на CNN <i>А.А. Щедрина, П.Ю. Лаптев, С.А. Литовкин</i>	149
Анализ частоты основного тона космонавтов в невесомости и на Земле <i>Г.В. Яценко, Н.С. Рельюк</i>	152

УДК 535.42

Электрически управляемый оптический спектральный фильтр на основе мультиплексированных многослойных неоднородных КПЖК дифракционных структур

Ю.А. Алтухов, Д.М. Чубаров, Д.С. Растрыгин, С.Н. Шарангович

Научный руководитель: к.ф.-м.н., В.О. Долгирев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: ualtuhov7@gmail.ru

Electrically controlled optical spectral filter based on multiplexed multilayer inhomogeneous PDLC diffraction structures

Yu.A. Altuhov, D.M. Chubarov, D.S. Rastrygin, S.N. Sharangovich

Scientific Supervisor: Ph.D., V.O. Dolgirev

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

E-mail: ualtuhov7@gmail.ru

***Abstract.** This paper presents the diffraction characteristics of electrically controlled multiplexed two-layer holographic diffraction structures formed from polymer encapsulated liquid crystals. The results obtained demonstrate the possibility of using multilayer holographic diffraction structures as the main element of electrically controlled optical spectral filters for CWDM communication networks.*

***Key words:** spectral filters, multiplexing, diffraction, CWDM.*

Введение

Мультиплексированные многослойные неоднородные голографические дифракционные структуры (МНГДС) в настоящее время вызывают интерес исследователей со всего мира. Благодаря своим дифракционным свойствам, данные структуры интересны с точки зрения построения на их основе различных оптических устройств, например, оптических спектральных фильтров [1], устройств для отображения информации (отображение приборной панели автомобиля на лобовом стекле). Также используются в качестве основного элемента для технических решений интегральной оптики.

Применение голографических дифракционных структур (ГДС), сформированных в капсулированных полимером нематических жидких кристаллов (КПЖК) [2], дает возможность динамического управления дифракционными характеристиками таких структур с помощью приложенного электрического поля. Исследование, ранее проведенное в работе [3], продемонстрировало, что при воздействии внешнего электрического воздействия на КПЖК слои, можно управлять уровнем дифракционной эффективности (ДЭ).

Для создания спектрального фильтра оптического излучения предлагается использовать систему тонких КПЖК слоев, разделенных буферными слоями, в которых методом голографического формирования были бы сформированы дифракционные решетки. При считывании таких структур оптическим излучением возникают интерференционные эффекты между дифракционными слоями, что способствует особенному виду угловой селективности.

Вид угловой селективности таких структур представляет собой набор локальных максимумов и минимумов, количество и ширина которых зависят от соотношения буферного и дифракционного слоев. Путем представления локальных максимумов, как полос пропускания для конкретных длин волн при отклонении от условий дифракции Брэгга, можно использовать такие структуры для спектральной фильтрации оптического излучения. Одним из возможных способов уширения полосы пропускания является запись

мультиплексированных МНГДС, которые имеют уширение угловых и спектральных характеристик за счет записи нескольких дифракционных структур. Целью данной работы является исследование дифракционных характеристик, мультиплексированных МНГДС, сформированных в КПЖК.

Экспериментальная часть

При численном моделировании состояние поляризации считывающего излучения будем считать совпадающей с состоянием поляризации собственных необыкновенных волн в образце для каждого дифракционного слоя. Также, при численном расчете будут использованы однослойная и двухслойная ГДС с однородными профилями показателя преломления, записанные на длине волны $\lambda = 633$ нм и при $\Psi = \{-13,4; 0; 13,4\}$ градусов – углы при последовательной записи трех решеток ($N_h = 3$) для мультиплексированных ГДС. Параметры для моделирования: $\lambda_{read} = 1431$ нм – длина считывающей волны; $d_n = 14$ мкм – толщина дифракционного слоя; $t_n = 91,5$ мкм – толщина буферного слоя. Вышеприведенные параметры были подобраны таким образом, чтобы локальные максимумы соответствовали сетке CWDM с разносом каналов в 20 нм.

На рис. 1 приведено сравнение угловых селективностей относительно длин волн CWDM диапазона. Зависимость выражена в дБ относительно интенсивности излучения.

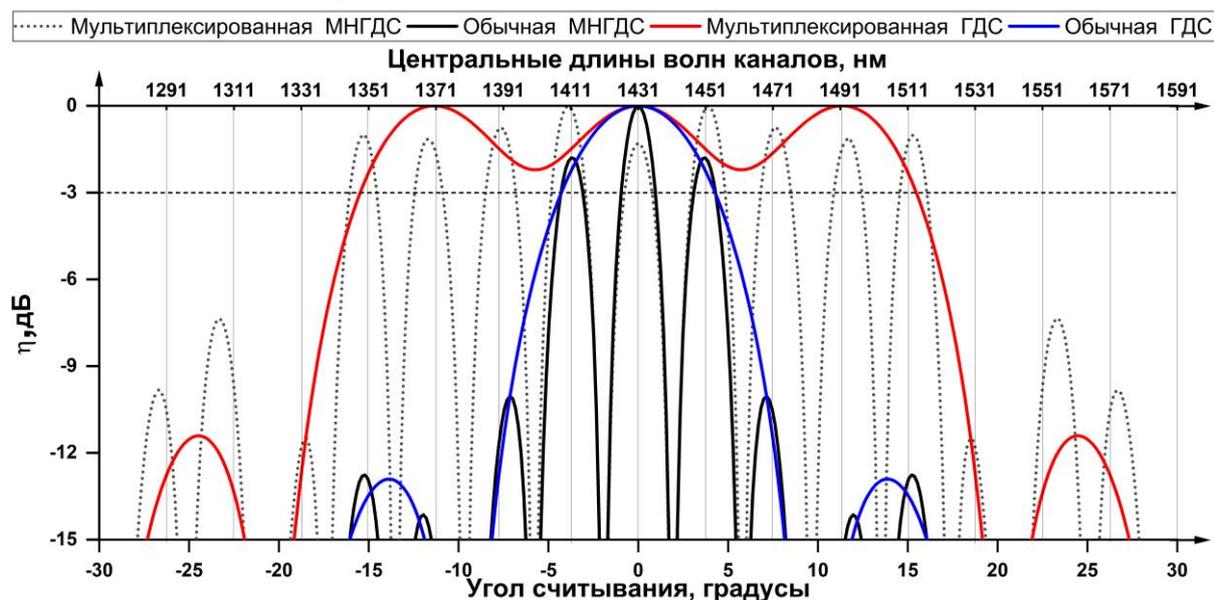


Рис. 1. Сравнение угловых селективностей ГДС и МНГДС

Из рис. 1 видно то, что при использовании мультиплексированных структур, можно добиться уширения полосы пропускания спектрального фильтра на коэффициент, кратный количеству записанных дифракционных решеток.

На рис. 2 представлена зависимость ДЭ мультиплексированной МНГДС от значения напряженности внешнего электрического поля и угла считывания.

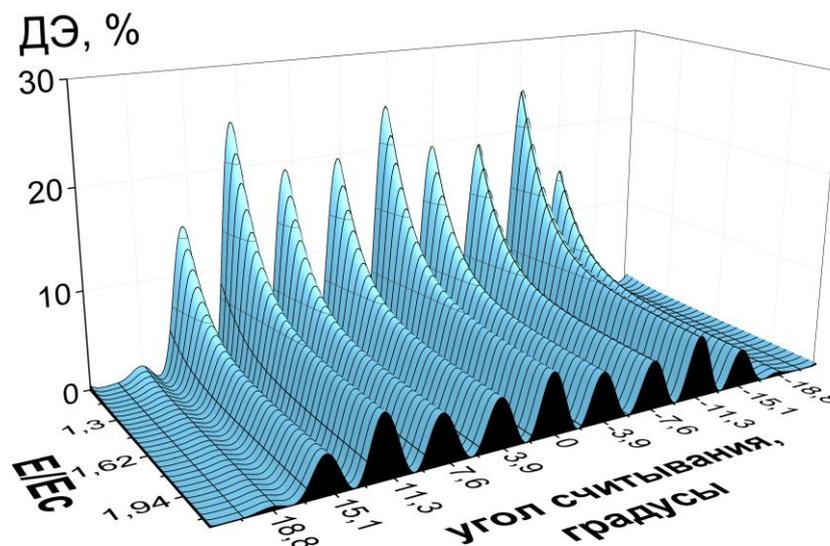


Рис. 2. Зависимость ДЭ от напряженности внешнего электрического поля и угла считывания

Как видно из рис. 2 ДЭ снижается по уровню при воздействии внешнего электрического поля, что также позволяет управлять полосой пропускания спектрального фильтра.

Заключение

В данной работе в результате численного моделирования была показана возможность увеличения полосы пропускания электрически управляемого оптического фильтра на основе мультиплексированных многослойных неоднородных КПЖК дифракционных структур [4]. В данном случае удалось добиться увеличения числа каналов по уровню -3 дБ с 3 для обычной МНГДС до 9 для мультиплексированной МНГДС, что кратно количеству записанных структур. Также была продемонстрирована возможность изменения полосы пропускания с помощью воздействия внешнего электрического поля.

Список литературы

1. Dolgirev V.O., Sharangovich S.N. Study of light diffraction on electrically controlled multilayer inhomogeneous structures with smooth optical inhomogeneity based on photopolymerizing compositions with nematic liquid crystals // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2022. – Vol. 86, № 1. – P. S46–S49.
2. Лапаник В.И., Тимофеев С.Н. Капсулированные полимером жидкие кристаллы с низким значением управляющего напряжения // Материалы VII Междунар. науч.-практ. конференции, посвященной 120-летию со дня рождения академика Антона Никифоровича Севченко – Минск: НИУ «Ин-т приклад. физ. проблем им. А. Н. Севченко» БГУ, 2023. – С. 408–410.
3. Чубаров Д.М., Алтухов Ю.А., Растрыгин Д.С. и др. Исследование дифракционных характеристик, мультиплексированных двухслойных КПЖК дифракционных структур при считывании линейно-поляризованным световым излучением // Материалы XIV Междунар. конф. по фотонике и информационной оптике – 2025. – С. 497–498.
4. Pen E.F., Rodionov M.Y. Properties of multilayer nonuniform holographic structures // Quantum Electron. – 2010. – Vol. 40. – P. 919–924.

УДК 535.343

Спектральные зависимости показателя поглощения в кристаллах LiNbO₃:Cu

А.Е. Апасьева, Ч.Б. Будueva, А.Х. Салчак, А.Я. Чащина

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н., М.Г. Кистенева

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: apaseva04@gmail.com

Optical spectra of LiNbO₃:Cu crystals

A.E. Apaseva, Ch.B. Budueva, A.H. Salchak, A.Ya. Chashchina

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D., M.G. Kisteneva

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

E-mail: apaseva04@gmail.com

Abstract. We present the optical absorption spectra of undoped and Cu-doped lithium niobate crystals. These crystals were diffusion-doped under an argon atmosphere at temperatures of 600 °C and 700 °C. The dependences of optical absorption of doped crystals are characterized by broad bands in the spectral range $\lambda = 315\text{--}600\text{ nm}$.

Key words: lithium niobate, absorption, spectral dependences, transmission.

Введение

Кристаллы ниобата лития (LiNbO₃), обладающие электрооптическими и нелинейно-оптическими свойствами, находят применение в устройствах оптической обработки информации [1]. Введение в ниобат лития примесных центров с электронными переходами в видимой области спектра (Fe, Cu) позволяет изменять такие оптические свойства, как фотолюминесценция, фоторефрактивные свойства, оптическая однородность и стойкость к излучению [2]. Целью данной работы является экспериментальное исследование спектральных зависимостей показателя поглощения в нелегированном и легированных медью кристаллах LiNbO₃.

Экспериментальная часть

В экспериментах использовались три оптически полированные пластины из ниобата лития X-среза, имеющие размеры 2×5×15 мм³. Пластина 1 оставалась нелегированной, а в пластины 2 и 3 проводилась диффузия меди [3]. На каждую из X-поверхностей этих пластин наносились с двух сторон плёнки меди толщиной 400 нм методом магнетронного распыления. Диффузия проводилась в атмосфере аргона в трубчатой электропечи на карбидокремниевых нагревателях, где исследуемые образцы 2 и 3 нагревались со скоростью 5 °C/мин до температуры 600 °C и 700 °C соответственно. Продолжительность диффузии составляла 12 часов, с последующим естественным охлаждением также течение 12 часов. После диффузии остатки плёнки удалялись с поверхностей кристаллов с использованием 70 % водного раствора уксусной кислоты при температуре 80 °C. Спектральные зависимости коэффициента пропускания t для нелегированного и легированных образцов измерялись в диапазоне длин волн 310–900 нм на спектрофотометре Shimadzu UV-2700.

Экспериментальные спектральные зависимости коэффициента пропускания образцов представлены на рис. 1. В образце LiNbO₃:Cu, легированном при температуре 600 °C, наблюдается уменьшение оптического пропускания в спектральном диапазоне $\lambda = 320\text{--}550\text{ nm}$, по сравнению со значениями, наблюдавшимися до проведения диффузии. Для образца, легированного при температуре 700 °C, коэффициент пропускания ещё больше снижается, а в диапазоне $\lambda = 345\text{--}430\text{ nm}$ пропускание уменьшается более чем на 60 % по сравнению с

нелегированным образцом. Для этого образца уменьшение пропускания происходит и на длинах волн $\lambda > 800$ нм.

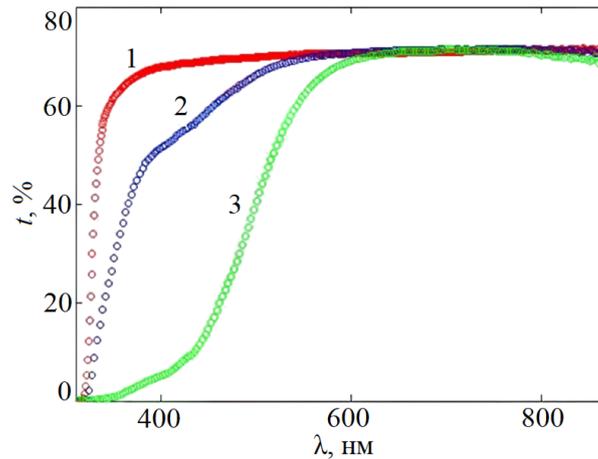


Рис. 1. Спектральные зависимости коэффициента пропускания кристаллов LiNbO_3 : 1 – нелегированный образец, 2 и 3 – легированные медью при $T_1 = 600$ °C и $T_2 = 700$ °C

Для расчета спектральных зависимостей показателей поглощения $k(\lambda)$ использовалось выражение для коэффициента пропускания $t(\lambda)$, который определяется соотношением [4]:

$$t = \frac{(1 - R)^2 \exp(-kd)}{1 - R^2 \exp(-2kd)}, \quad (1)$$

где R – коэффициент отражения, d – толщина образца.

Коэффициент отражения может быть вычислен по формуле Френеля в случае нормального падения [4]

$$R = \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2, \quad (2)$$

где n – показатель преломления.

Спектральная зависимость показателя поглощения $k(\lambda)$ может быть получена из (1):

$$k(\lambda) = -\frac{1}{d} \ln \left[-\frac{\left(1 - \frac{1}{R(\lambda)}\right)}{2t(\lambda)} + \sqrt{\frac{1}{R^2(\lambda)} + \frac{\left(1 - \frac{1}{R(\lambda)}\right)^4}{4t^2(\lambda)}} \right], \quad (3)$$

Спектральная зависимость коэффициента отражения $R(\lambda)$ определяется формулой (2) и дисперсией показателя преломления $n(\lambda)$. Для расчета $n(\lambda)$ для кристалла ниобата лития мы использовали формула Зельмейера для обыкновенного луча [5]:

$$n^2 = 4,9048 + \frac{0,11768}{(\lambda^2 - 0,04750)} - 0,027169\lambda^2, \quad (4)$$

где длина волны λ выражается в мкм.

Спектральные зависимости показателя поглощения $k(\lambda)$ в нелегированном и легированных медью кристаллах ниобата лития, полученные с использованием соотношений (2)–(4) и экспериментальных данных для коэффициента пропускания $t(\lambda)$, представлены на рис. 2.

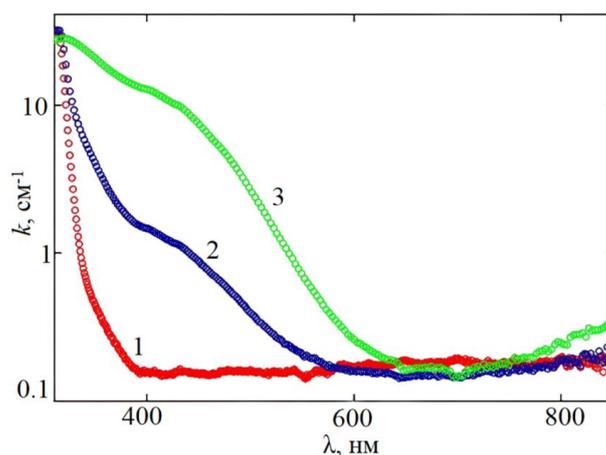


Рис. 2. Спектральные зависимости показателя поглощения в кристаллах LiNbO_3 : 1 – нелегированный образец, 2 и 3 – легированные медью при $T_1 = 600\text{ }^\circ\text{C}$ и $T_2 = 700\text{ }^\circ\text{C}$

Из рисунка видно, что легирование медью при $T_1 = 600\text{ }^\circ\text{C}$ обуславливает появление широкой полосы поглощения в спектральном диапазоне $\lambda = 315\text{--}600\text{ нм}$. Повышение температуры отжига до $T_2 = 700\text{ }^\circ\text{C}$ приводит к увеличению поглощения как в указанном диапазоне, так и в диапазоне $\lambda > 780\text{ нм}$. Появление этих полос является следствием примесного поглощения центрами Cu^+ и Cu^{2+} [6]. Максимальное изменение показателя поглощения в кристалле $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$, легированном при температуре $T_1 = 600\text{ }^\circ\text{C}$, составило величину $\Delta k_{\text{max}1} = 8,8\text{ см}^{-1}$ на длине волны $\lambda = 322\text{ нм}$. Для кристалла $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$, легированного при $T_2 = 700\text{ }^\circ\text{C}$, значение $\Delta k_{\text{max}2} = 24\text{ см}^{-1}$ на длине волны $\lambda = 333\text{ нм}$.

Заключение

Таким образом, легирование медью кристалла ниобата лития приводит к появлению широкой полосы поглощения в спектральном диапазоне $\lambda = 315\text{--}600\text{ нм}$ и полосы поглощения в диапазоне $\lambda > 780\text{ нм}$. Интенсивность этих полос увеличивается при повышении температуры отжига от $600\text{ }^\circ\text{C}$ до $700\text{ }^\circ\text{C}$.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки и высшего образования Российской Федерации в рамках Госзадания FEWM-2023-012 на 2023–2025 гг.

Список литературы

1. Сорокин Н.И. Электропроводность кристаллов LiNbO_3 в условиях температурного воздействия в вакууме // Кристаллография. – 2022. – Т. 68, № 3. – С. 437–441.
2. Горелик В.С., Пятыхев А.Ю., Сидоров Н.В. Фотолюминесценция ниобата лития, легированного медью // Физика твердого тела. – 2018. – Т. 60, В. 5. – С. 904–909.
3. Шандаров С.М., Кломаков А.А., Анисимов Р.И., Комов Э., Темерева А.С., Буримов Н.И. Динамические фоторефрактивные голограммы в диффузионно-легированных кристаллах ниобата лития: технология и применение // Тезисы докладов XXI Международной конференции по голографии и прикладным оптическим технологиям. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024. – С. 270–273.
4. Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников. – Москва: Наука, 1977. – 368 с.
5. Петров В.М., Шамрай А.В. СВЧ интегрально-оптические модуляторы // Теория и практика. – СПб: Университет ИТМО, 2021. – 225 с.
6. Peithmann K., Hukriede J., Buse K., Krätzig E. Photorefractive properties of LiNbO_3 crystals doped by copper diffusion // Physical Review B. – 2000. – Vol. 61, № 7. – P. 4615–4620.

Исследование инициирования магнетронного разряда в форвакуумном плазменном источнике электронов

В.Е. Аркатов, А.В. Казаков, Н.А. Панченко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: valerii.e.arkatov@tusur.ru

Investigation of initiation of a magnetron discharge in a forevacuum plasma electron source

V.E. Arkatov, A.V. Kazakov, N.A. Panchenko

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

E-mail: valerii.e.arkatov@tusur.ru

***Abstract.** The initiation of a planar magnetron discharge in a forevacuum plasma electron source has been investigated. The increase of accelerating voltage and gas pressure leads to a decrease in the delay of the magnetron discharge initiation.*

***Key words:** Plasma electron source, forevacuum pressure range, magnetron discharge, discharge initiation,*

Введение

Плазменные источники электронов с магнетронной разрядной системой, в которых используется магнетронный разряд для создания эмиссионной плазмы (ЭП), могут обеспечивать более высокую плотность тока разряда и, соответственно, более высокую плотность тока электронного пучка по сравнению с плазменными источниками на основе тлеющего разряда и отражательного разряда при давлениях 10^{-3} – 10^{-1} Па [1, 2]. В [3] авторами рассматривается влияние на напряжение зажигания планарного магнетронного разряда ионного пучка, инжектируемого в разрядную систему магнетронного разряда при давлении газа менее $8 \cdot 10^{-2}$ Па. Установлено, что при бомбардировке катода ионами уменьшается напряжение зажигания по мере увеличения энергии ионов, а также установлена пороговая зависимость напряжения зажигания от тока ионного пучка [3]. Особенностью форвакуумных плазменных источников электронов является зажигание высоковольтного тлеющего разряда (ВТР) в ускоряющем промежутке при приложении высокого напряжения для извлечения и ускорения электронов [4]. Ионный поток, формируемый ВТР, проникая в разрядную систему форвакуумного источника, обеспечивает меньшее напряжение зажигания тлеющего разряда с полым катодом [4]. В форвакуумном источнике при использовании планарного магнетронного разряда (ПМР) в качестве источника ЭП так же может наблюдаться влияние ВТР на инициирование ПМР. Цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния ВТР на время задержки зажигания ПМР в форвакуумном плазменном источнике импульсного электронного пучка.

Экспериментальная часть

Схема импульсного форвакуумного плазменного источника электронов с разрядной системой на основе планарного магнетрона и схема эксперимента показаны на рис. 1. Анодная часть разрядной системы и ускоряющий промежуток описаны в [5]. Вместо катодного узла в разрядной системе источника, описанного в [5], использовался планарный магнетрон с медным катодом (мишенью) диаметром 75 мм, максимальная напряженность магнитного поля вблизи катода достигала 53 мТл. Питание магнетронного разряда осуществлялось импульсным блоком питания разряда, обеспечивающим прямоугольные импульсы напряжения с амплитудой U_{a0} до 1 кВ. После зажигания магнетронного разряда напряжение U_d на разрядном промежутке уменьшалось до напряжения горения разряда.

Высоковольтный источник напряжения обеспечивал постоянное ускоряющее напряжение U_a . Давление p газа (азот) в вакуумной камере и источнике электронов варьировалось от 5 до 15 Па. Ускоряющее напряжение U_a и напряжение на разрядном промежутке U_d контролировались высоковольтными пробниками напряжения TESTEC HVP-15HF, ток магнетронного разряда I_d измерялся трансформатором тока. Напряжения U_a , U_d и ток I_d фиксировались осциллографом, с помощью которого определялись моменты подачи импульса с блока питания разряда и зажигания магнетронного разряда. За время задержки t_d зажигания магнетронного разряда принимался промежуток времени между моментом подачи импульса напряжения на разрядный промежуток и моментом, когда возникал ток I_d разряда.

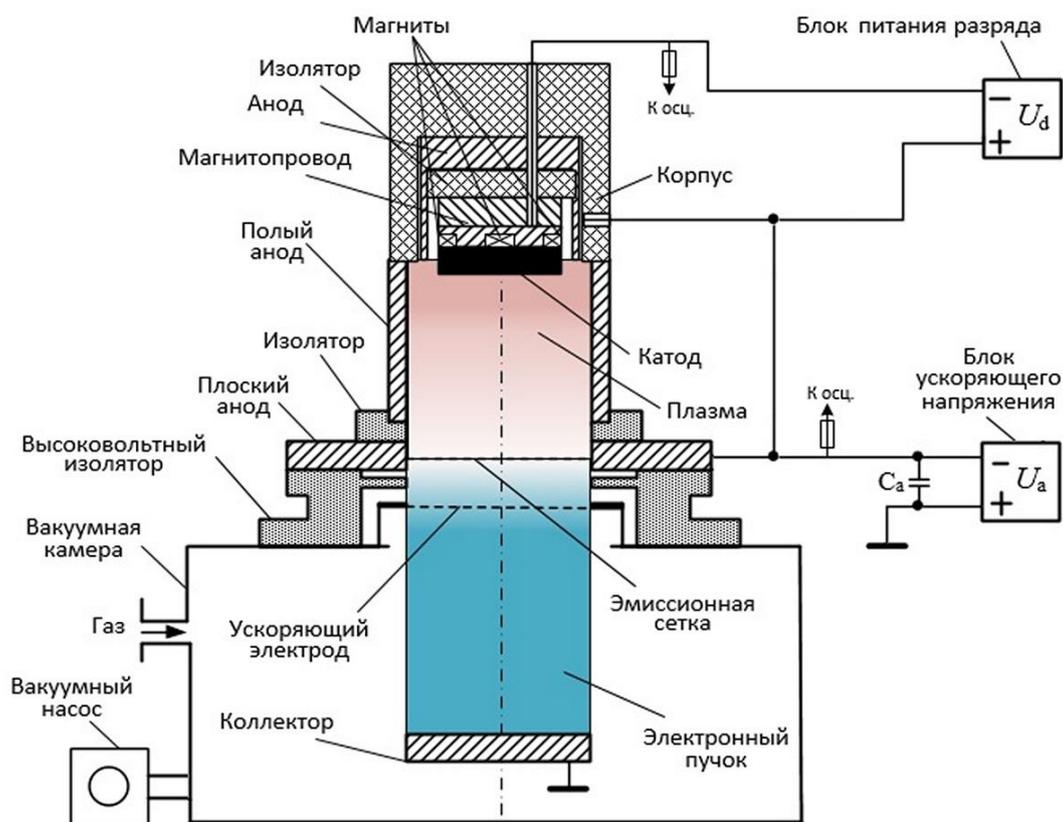


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Результаты

На рис. 2, а представлен график зависимости среднего времени задержки инициирования магнетронного разряда t_d от амплитуды импульса напряжения U_{d0} , обеспечиваемого блоком питания разряда. Без ускоряющего напряжения ($U_a = 0$) время задержки t_d уменьшается по мере увеличения амплитуды U_{d0} . При неизменном U_{d0} время t_d уменьшается по мере роста давления газа. На рис. 2, б представлены графики зависимостей среднего времени задержки инициирования магнетронного разряда t_d от ускоряющего напряжения U_a при $U_{d0} = 600$ В. Время задержки t_d уменьшается по мере увеличения напряжения U_a , а также при увеличении давления p газа.

В магнетронной разрядной системе при увеличении напряжения U_{d0} увеличивается вероятность ионизации молекул газа «затравочным» электроном, что приводит к увеличению скорости ионизации молекул газа, а, соответственно, и к уменьшению времени задержки t_d инициирования разряда. Влияние ускоряющего напряжения U_a на время задержки t_d связано с ВТР, возникающим в ускоряющем промежутке источника. Ток ВТР увеличивается с ростом U_a и давления p [4], в результате увеличивается и ионный поток, проникающий в

разрядный промежуток через эмиссионный электрод источника, что и обеспечивает уменьшение времени задержки инициирования t_d магнетронного разряда.

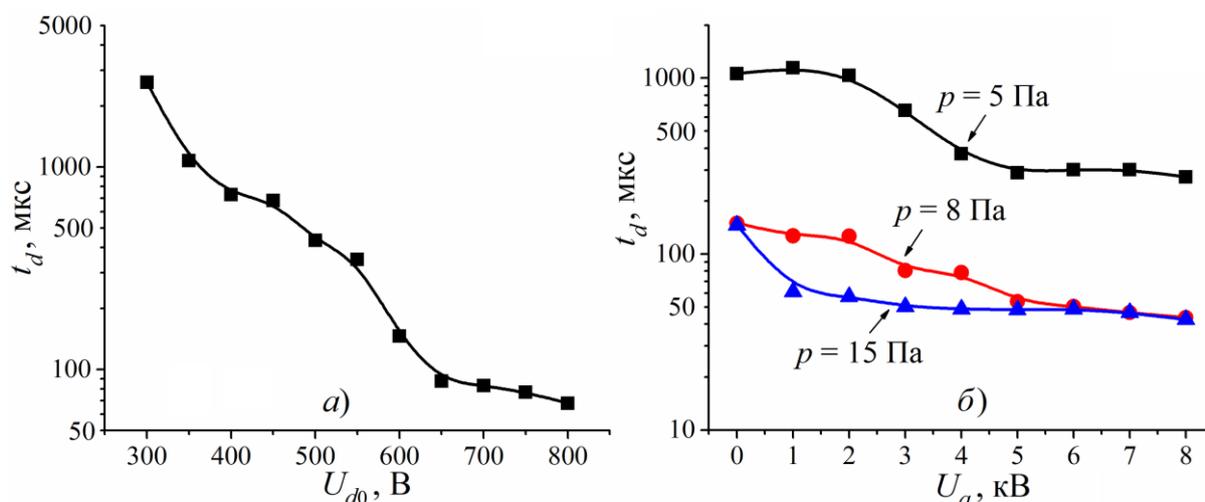


Рис. 2. Зависимость времени задержки t_d от амплитуды импульса напряжения U_{d0} при $p = 8$ Па и $U_a = 0$ (а) и зависимость времени задержки t_d от ускоряющего напряжения U_a при $U_{d0} = 600$ В (б)

Заключение

Проведены исследования инициирования планарного магнетронного разряда в форвакуумном плазменном источнике электронов. Показано, что увеличение ускоряющего напряжения и давления газа приводит к уменьшению запаздывания возникновения магнетронного разряда.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 25-29-00142.

Список литературы

1. Довбня А.Н., Закутин В.В., Решетняк Н.Г., Ромасько В.П., Волколупов Ю.Я., Красноголовец М.А. Получение мощных электронных пучков в магнетронных пушках с холодными вторично-эмиссионными катодами // Журнал технической физики. – 2002. – Т. 72, № 12. – С. 98–101.
2. Семенов А.П., Семенова И.А. Некоторые свойства магнетронного разряда с полым катодом как генератора плазмы, эмитирующей заряженные частицы // Журнал технической физики. – 2005. – Т. 75, № 4. – С. 48–52.
3. Семенов А.П., Семенова И.А., Цыренов Д., Николаев Э.О. Свойства магнетронного разряда низкого давления в условиях инициирования пучком ускоренных ионов эмиссионных процессов на электродах разряда // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2020. – Т. 63, № 10. – С. 102–108.
4. Бурдовицин В.А., Климов А.С., Медовник А.В., Окс Е.М., Юшков Ю.Г. Форвакуумные плазменные источники электронов : монография. – Томск: Изд-во ТГУ, 2014. – 288 с.
5. Kazakov A.V., Medovnik A.V., Oks E.M., Panchenko N.A. Broad-beam plasma-cathode electron beam source based on a cathodic arc for beam generation over a wide pulse-width range // Review of Scientific Instruments. – 2020. – Vol. 91. – Art. № 093304.

УДК 537.53

**Влияние конфигурации ускоряющего промежутка на ток эмиссии в форвакуумном
плазменном источнике электронов**

В.Е. Аркатов, А.В. Казаков, А.В. Тюньков

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: arkatov.v.221-2024@e.tusur.ru

**Influence of the accelerating gap configuration on the emission current in a forevacuum
plasma electron source**

V.E. Arkatov, A.V. Kazakov, A.V. Tyunkov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: arkatov.v.221-2024@e.tusur.ru

Abstract. *With a non-coaxial arrangement of the holes in the emission and accelerating multi-aperture electrodes of a forevacuum plasma electron source, the emission current is higher at a pressure of less than 10 Pa and a pulse repetition rate of below 3 Hz. At higher pressure and pulse repetition rate, the emission current becomes greater with a coaxial arrangement of the holes.*

Key words: *Plasma electron source, electron emission, pulsed electron beam, forevacuum pressure range, accelerating gap.*

Введение

Импульсные плазменные источники электронов (ПИЭ) со слоевой (или сеточной) стабилизацией границы эмиссионной плазмы обеспечивают генерацию электронных пучков различного поперечного сечения в достаточно широком диапазоне параметров (ток пучка, длительность импульса и др.) [1, 2]. «Традиционные» ПИЭ достаточно устойчиво функционируют при повышенном (по сравнению с источниками на основе термокатодов) давлении газа до 10^{-1} Па и при использовании активных газов, таких как, например, кислород и азот. Распространение электронного пучка через газовую среду сопровождается формированием пучковой плазмы (ПП), плотность которой зависит от величины давления газа. Давление газа и ионный поток из ПП оказывают влияние на работу и характеристики «традиционных» ПИЭ [3]. В форвакуумной области давлений (1–100 Па) плотность ПП выше по сравнению с диапазоном давлений для «традиционных» ПИЭ (10^{-4} – 10^{-1} Па), в результате поток ионов из ПП оказывает более существенное влияние на функционирование форвакуумных ПИЭ [4].

Конфигурация ускоряющего промежутка также может оказывать влияние на поток ионов из ПП, который распространяется в сторону разрядной системы форвакуумного ПИЭ. В связи с этим, цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния конфигурации ускоряющего промежутка на ток эмиссии электронов в импульсном форвакуумном ПИЭ.

Экспериментальная часть

В исследованиях использовался импульсный форвакуумный плазменный источник электронов на основе дугового разряда (рис. 1, а), описание которого представлено в [5]. В отличие от конструкции, описанной в [5], в настоящей работе эмиссионное окно в разрядной системе источника перекрывалось перфорированным многоапертурным электродом и дополнительно мелкоструктурной сеткой ($0,3 \times 0,3$ мм²), которая располагалась со стороны разрядной системы и была плотно прижата к перфорированному электроду. Перфорированный электрод с сеткой представляют собой эмиссионный электрод. Диаметр отверстий в перфорированном электроде составлял 4 мм, количество отверстий – 313. Сеточный ускоряющий электрод был заменен на многоапертурный перфорированный

электрод с таким же диаметром отверстий и их количеством как в эмиссионном электроде. В экспериментах использовалось две конфигурации расположения электродов ускоряющего промежутка: 1 – отверстия в эмиссионном электроде располагались соосно с отверстиями в ускоряющем электроде (рис. 1, б); 2 – отверстия в эмиссионном электроде располагались несоосно с отверстиями в ускоряющем электроде (рис. 1, в). Расстояние между перфорированными электродами ускоряющего промежутка составляло 14 мм.

Ток I_d дугового разряда, обеспечиваемый импульсным блоком питания разряда, составлял 20 А при длительности импульса 500 мкс, а частота следования импульсов f изменялась в диапазоне 0,1–20 Гц. Ускоряющее напряжение U_a составляло 8 кВ. Ток разряда I_d и ток эмиссии I_e измерялись трансформаторами тока. Электронный пучок принимался металлическим коллектором. Давление p газа (азот) в вакуумной камере и источнике электронов изменялось от 4 до 12,8 Па.

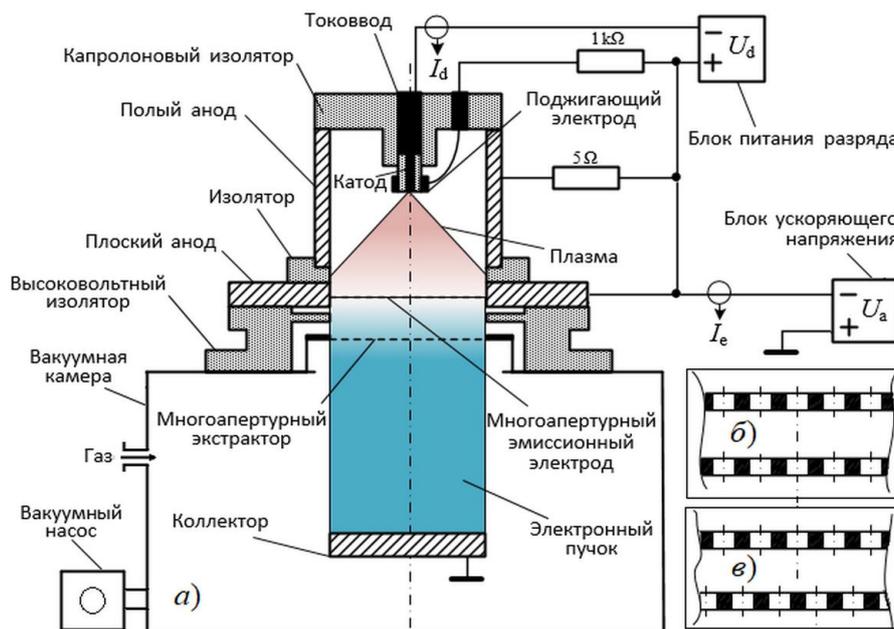


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (а); взаимное расположение многоапертурных электродов: соосное (б) и несоосное (в)

Результаты

При неизменном токе I_d дугового разряда величина тока I_e увеличивается по мере роста давления p газа, что связано с обратным ионным потоком из ПП [4]. При давлении p до приблизительно 10 Па ток эмиссии оказывается выше при несоосном расположении отверстий в многоапертурных электродах (кр. 2), чем при соосном расположении отверстий (кр. 1). Однако при $p > 10$ Па ток I_e эмиссии становится немного выше при соосном расположении отверстий в электродах. Ток эмиссии зависит также от частоты f следования импульсов. При $p < 10$ Па и частоте f следования импульсов до 3 Гц ток эмиссии при несоосном расположении электродов больше, чем при соосном расположении (рис. 2, б). Однако при дальнейшем увеличении f ток эмиссии становится больше при соосном расположении отверстий в электродах. При этом при использовании обеих конфигураций электродов ток I_e эмиссии уменьшается по мере роста частоты f .

Наблюдаемые зависимости, вероятно, связаны с десорбцией газа, которая происходит с поверхности ускоряющего электрода под действием бомбардировки электронами. При несоосном расположении отверстий в электродах часть потока электронов, эмитированных через отверстия в эмиссионном электроде и ускоренных напряжением U_a , бомбардирует ускоряющий электрод и вызывает десорбцию газа, что приводит к локальному

увеличению давления газа в ускоряющем промежутке, что в свою очередь приводит к росту тока I_e . При $p > 10$ Па вклад десорбированного газа в «общее» давление газа в ускоряющем промежутке оказывается небольшим, и более существенное влияние оказывает поток ионов из ПП, формируемой в пространстве дрейфа пучка. Поскольку для формирования абсорбированного слоя газа требуется определенное время, то по мере увеличения частоты f уменьшается количество абсорбированных молекул газа, и поверхность ускоряющего электрода очищается, в результате количество десорбированных молекул уменьшается.

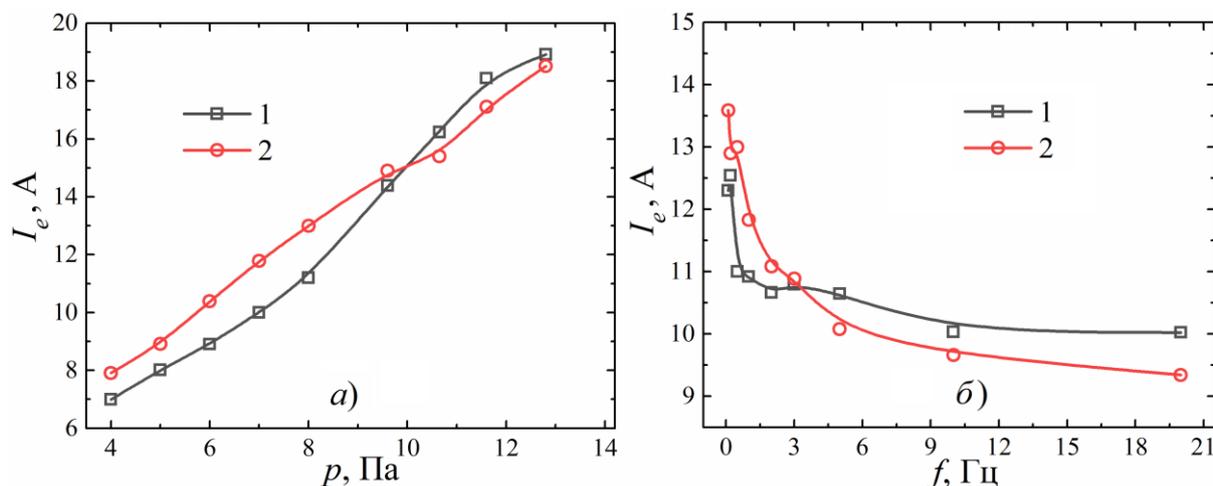


Рис. 2. Зависимость тока I_e эмиссии от давления p газа при $f = 0,5$ Гц (а) и частоты f следования импульсов при $p = 8$ Па (б); расположение отверстий во многоапертурных электродах: 1 – соосное, 2 – несоосное

Заключение

Исследовано влияние конфигурации ускоряющего промежутка форвакуумного плазменного источника электронов на эмиссию электронов. При несоосном расположении отверстий в эмиссионном и ускоряющем многоапертурных электродах ток эмиссии больше при давлении менее 10 Па и частоте следования импульсов не более 3 Гц. При большем давлении газа и большей частоте следования импульсов ток эмиссии становится больше при соосном расположении отверстий в электродах.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FEWM-2023-0012.

Список литературы

1. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 216 с.
2. Коваль Н.Н., Девятков В.Н., Воробьев М.С. Источники электронов с сеточным плазменным эмиттером: прогресс и перспективы // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2020. – Т. 63, № 10. – С. 7–16.
3. Koval N.N., Grigoryev S.V., Devyatkov V.N., Teresov A.D., Schanin P.M. Effect of intensified emission during the generation of a submillisecond low-energy electron beam in a plasma-cathode diode // IEEE Trans. Plasma Sci. – 2009. – Vol. 37. – P. 1890–1896.
4. Kazakov A.V., Medovnik A.V., Oks E.M., Panchenko N.A., Emission characteristics of a forevacuum plasma-cathode source of wide-aperture pulsed electron beam with layer (mesh) stabilization of emission plasma // Vacuum. – 2024. – Vol. 227. – Art. No. 113428.
5. Kazakov A. V., Medovnik A. V., Oks E. M., Panchenko N. A. Broad-beam plasma-cathode electron beam source based on a cathodic arc for beam generation over a wide pulse-width range // Review of Scientific Instruments. – 2020. – Vol. 91. – Art. No. 093304.

Механизмы защиты от replay attack для сетей fanet в среде моделирования NS-3

Д.А. Баранов, А.А. Конев

Научный руководитель: профессор, д. т. н., А.А. Шелупанов
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск пр. Ленина, 40, 634050
Email: bda@csp.tusur.ru

Replay attack protection mechanisms for fanet in NS-3 simulation environment

D.A. Baranov, A.A. Konev

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.A. Shelupanov
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenina, str., 40, 634050
Email: bda@csp.tusur.ru

Abstract. *This paper presents a method for protecting against replay attacks in FANET networks. The proposed method improves security by embedding timestamps in transmitted packets, allowing receivers to verify the data's relevance and reject replays. An implementation in the NS-3 simulation environment demonstrates its effectiveness in mitigating attacks with minimal impact on energy consumption and communication latency.*

Key words: *Replay attack, Timestamp-based Detection, FANET, LTE, NS-3.*

Введение

За последние годы широкое распространение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) стало возможным благодаря достижениям в технологии управления, улучшению характеристик полета и усовершенствованным методам передачи данных. Однако обеспечение безопасности БПЛА против потенциальных угроз остается серьезной задачей, поскольку эти системы уязвимы для захвата, глушения или атак с подделкой данных [1].

Особо сложной задачей является гарантия безопасности во время группового взаимодействия между БПЛА, где важно обеспечить не только надежную передачу данных, но и учесть влияние защитных механизмов на потребление энергии каждым устройством. Современные подходы к обеспечению безопасности часто игнорируют влияние мер защиты на энергопотребление, что может существенно снизить автономность работы БПЛА. Поэтому разработка эффективных решений, обеспечивающих высокий уровень безопасности при минимальном потреблении энергии [2], имеет решающее значение для дальнейшего развития и успешного применения БПЛА в различных областях.

Для изучения таких решений широко используются методы моделирования, позволяющие оценивать различные стратегии защиты информации [3]. Симулятор NS-3 служит мощным инструментом для моделирования сетевых взаимодействий, включая те, которые используются в системах управления БПЛА [4, 5]. Этот инструмент позволяет анализировать информационные потоки между узлами системы и оценивать воздействие различных факторов на энергопотребление устройств путем моделирования сценариев атак.

Используя возможность NS-3 детально моделировать низкоуровневые процессы, можно проанализировать, как изменения в протоколах передачи данных и алгоритмах безопасности влияют на общее энергопотребление системы. В данной работе рассматривается механизм защиты от атак повторной передачи, основанный на обнаружении временных меток (Timestamp-based Detection).

Экспериментальная часть

Описание модели. Одним из эффективных способов защиты от атак повторного воспроизведения является метод на основе временных меток (Timestamp-based Detection).

Данный метод основан на включении временных меток в передаваемые пакеты данных, что позволяет приемнику определять актуальность полученной информации и предотвращать повторное воспроизведение устаревших сообщений.

Применение метода актуально в сетях FANET, где обмен данными между БПЛА требует высокой надежности и защиты от атак. Использование временных меток позволяет исключить возможность повторной передачи перехваченных данных злоумышленником, тем самым снижая риск несанкционированного воздействия на сеть.

Первым этапом метода является генерация временной метки. Отправитель S формирует пакет данных P и добавляет к нему временную метку:

$$P = \{D, T_s\},$$

где D – передаваемые данные, T_s - временная метка отправителя в момент отправки.

Затем пакет P передается по сети и принимается узлом-получателем R . При получении пакета узел R записывает текущее время T_r и вычисляет разницу:

$$\Delta T = T_r - T_s.$$

Если разница ΔT не превышает установленного допустимого порога T_{thr} , пакет считается валидным. В противном случае пакет отклоняется как возможная атака повторного воспроизведения. Порог T_{thr} может быть адаптивным и зависеть от характеристик сети, задержек распространения сигнала и возможных отклонений в синхронизации часов.

Результаты

В ходе эксперимента моделировался сценарий, в котором мобильный узел перемещался по прямолинейной траектории на дистанцию 1 км, взаимодействуя с базовой станцией и сервером, имитирующим атакующую сторону. Связь осуществлялась через протокол LTE. Анализ полученных данных, представленных на рис. 1, позволил сравнить работу системы в двух режимах: с применением механизма защиты от атак повторного воспроизведения и без него.

Результаты эксперимента показали, что использование метода на основе временных меток привело к увеличению объема передаваемых данных и дополнительной нагрузке на узел. Однако, несмотря на это, сокращение времени автономной работы оказалось на 10 минут меньше по сравнению со сценарием, в котором атака была успешно реализована.

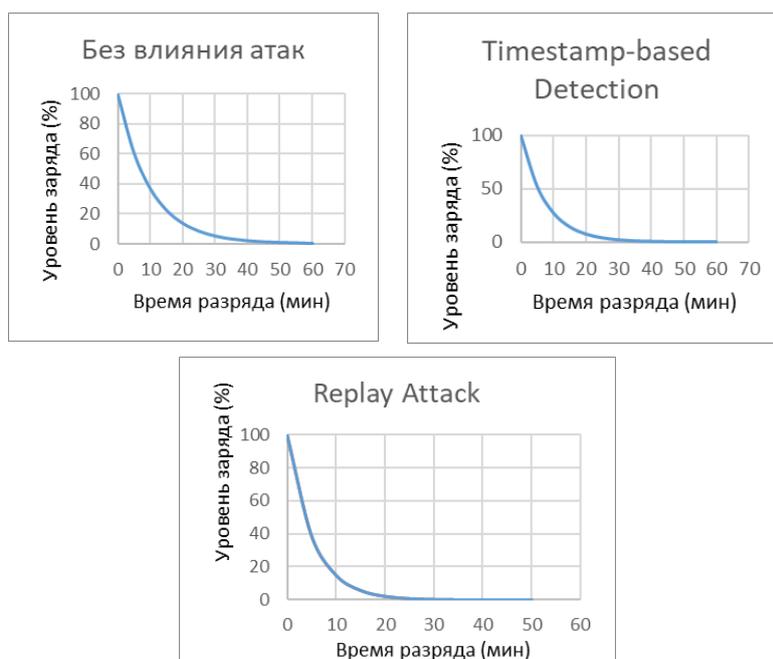


Рис. 1. Результаты влияния атак на энергопотребление узла

Заключение

Таким образом, метод на основе временных меток является эффективным решением для защиты от атак повторного воспроизведения в FANET, но требует дополнительного исследования в части улучшения синхронизации и адаптации к динамическим условиям сети. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку гибридных методов, объединяющих временные метки с криптографическими механизмами, а также оптимизацию энергопотребления для повышения автономности БПЛА.

Список литературы

1. Bragin D.S., Urazayev D.R., Konev A.A., Cherepanova I.V. Onboard device for UAS remote identification // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 1989. – Art. № 012044.
2. Баранов Д.А., Конев А.А. Модель энергопотребления для сетей FANET в среде моделирования NS-3 // *Сборник научных трудов XXI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук»*. – Томск: Изд-во ТПУ, 2024. – Т. 7. – С. 12–15.
3. Sekar A., Maria A., Al-Turjman F., Altrjman C. Anonymous Mutual and Batch Authentication with Location Privacy of UAV in FANET // *Drones*. – 2022. – Vol. 6. – P. 14.
4. Abdel-Malek M., Akkaya K., Bhuyan A., Ibrahim A. A Proxy Signature-Based Swarm Drone Authentication With Leader Selection in 5G Networks // *IEEE Access*. – 2022. – Vol. 10. – P. 57485–57498.
5. Kan J., Zhang J., Liu D., Huang X. Proxy Re-Encryption Scheme for Decentralized Storage Networks // *Appl. Sci*. – 2022. – Vol. 12. – P. 4260.

УДК 621.314.1

Квази-ШИМ преобразователи постоянного напряжения

Д.Н. Бондаренко

Научный руководитель: профессор, д.т.н. И.П. Воронин
ООО «Автономные технологии»,
Россия, г. Москва, Мневники 17, 123308,
Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14, 111250
E-mail: BondarenkoDN1@yandex.ru

Quasi-PWM DC voltage converters

D.N. Bondarenko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. I.P. Voronin
Autonomous Technologies LLC, Russia, Moscow, Mnevniki, 17, 123308,
National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Russia, Moscow,
Krasnokazarmennaya str., 14, 111250
E-mail: BondarenkoDN1@yandex.ru

***Abstract.** Quasi-resonant switching is a way to reduce dynamic losses. Quasi-resonant soft switching modes can be implemented if the transistor is switched at zero switch current or voltage. When the current passes through zero at a non-zero voltage, switching occurs under ideal conditions without power dissipation and switching losses should be considered equal to zero. The second method of soft switching is to switch the transistor at zero voltage.*

***Key words:** Quasi-PWM, DC voltage converters, soft switching modes, switching losses.*

Введение

Регулирование выходного напряжения осуществляется путем изменения параметров выходных импульсов, особенно часто это реализовано путем изменения скважности напряжения с широтно-импульсным регулированием [1]. Существуют способы уменьшения динамических потерь: демпфирование и квазирезонансная коммутация. В режимах мягкой коммутации, реализуемых с помощью демпфирования, при включении ключа искусственно уменьшают скорость нарастания тока ключа или напряжения для снижения уровня динамических потерь. Режимы квази-резонансной мягкой коммутации возможно осуществить при двух условиях. Первый это переключение транзистора при нулевом токе ключа. В таком случае в момент перехода тока через ноль при ненулевом напряжении происходит коммутация в идеальных условиях без рассеяния мощности и потери на переключения следует считать равными нулю. Второй метод мягкой коммутации состоит в переключении транзистора при нулевом напряжении.

Экспериментальная часть

Были использованы следующие методы научного исследования – классификация и синтез. Была проведена систематизация существующих методов повышения КПД преобразователей постоянного напряжения и синтез универсального решения, позволяющего получить условия мягкой коммутации для тока или напряжения, находящее свое применение в области квази-резонансных методов коммутации.

Разновидности квази-ШИМ преобразователей напряжения

Работы квазирезонансных регуляторов напряжения основана на передачи энергии от входа в нагрузку, накоплении ее в буфере с последующей передачей, коммутации ключевых элементов при нулевых токах или напряжениях [2]. Достижение условий нулевой коммутации достигается за счет введения дополнительного параллельного или последовательного

резонансного контура. Модификация импульсного преобразователя напряжения приводит нас к схемотехническому решению, суть которого состоит в подключении резонансного контура при определенной конфигурации состояний управляемого ключа и диода для достижения нулевых значений тока и напряжения.

Возможно получение схемы квазирезонансного преобразователя путем добавления LC элементов в импульсный регулятор 2 рода. Схема такого рода обеспечивает условия коммутации в нуле тока. Добавление LC элементов в импульсный регулятор 1 рода обеспечивает коммутацию в нуле напряжения. Была проанализирована схема Квази-ШИМ преобразователей постоянного напряжения для типов резонансных контуров: последовательного и параллельного типа.

Схема понижающего Квази-ШИМ преобразователя отличается от регулятора 2 рода тем, что включает последовательный резонансный контур, что показано на рисунке ниже. Индуктивность фильтра стоит на входе схемы после источника питания, конденсатор фильтра стоит на выходе регулятора, что соответствует исходной топологии преобразователя. Получение квазирезонансных характеристик достигается за счет добавления последовательно индуктивности фильтра резонансного конденсатора и последовательно конденсатору фильтра резонансной индуктивности.

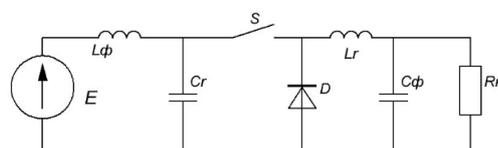


Рис. 1. Схема понижающего Квази-ШИМ преобразователя

Схема проходит 4 последовательных состояния в зависимости от состояния ключа и диода. Когда ключ находится в проводящем состоянии и диод заперт, к выходной цепи ключа присоединяется последовательный резонансный контур. Достигаются условия, необходимые для резонансного процесса, что приводит к открытию ключа при нуле тока.

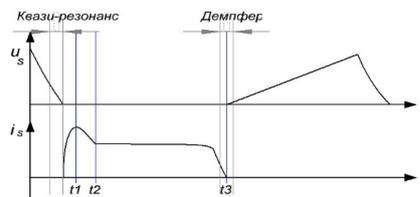


Рис. 2. Диаграмма тока и напряжения ключа при коммутации в понижающем Квази-ШИМ преобразователе

При подключении резонансного контура к схеме ток ключа начинает резонировать и, достигая своего пика, в момент времени t_1 , далее стремится достичь нуля. При достижении током ключа значения тока нагрузки в момент времени t_2 включается диод и ток ключа фиксируется на достигнутом значении до конца импульса. Ключ выключается в момент времени t_3 , в условиях околонулевой коммутации. Фронты тока и напряжения перекрываются, но нарастающий фронт напряжения ключа завален, в связи с чем потери на выключение уменьшены по сравнению с базовой схемой понижающего регулятора напряжения.

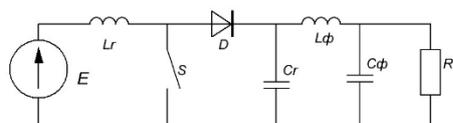


Рис. 3. Схема повышающего Квази-ШИМ преобразователя

Замена выходной емкости C_f эквивалентной ей емкостью источника питания, а также объединение сопротивления нагрузки и малой индуктивности L_f в единый элемент, позволяет получить схему повышающего Квази-ШИМ преобразователя. При включенном диоде данная схема позволяет получить относительно управляемого ключа параллельный резонансный контур, создающий условия коммутации в нуле напряжения. При выключении управляемого ключа начинается резонансный процесс. Диод находится в проводящем состоянии и зависимость напряжения на ключе приобретает резонансный характер. Напряжение ключа нарастает, достигая своего максимума, а затем спадает, стремясь достигнуть нуля. При выключении диода напряжение ключа остается фиксируется на заданном положении до следующей коммутации. За счет данного резонансного процесса ключ выключается при квазирезонансных условиях за счет нуля напряжения. Включение ключа сопровождается низкой скоростью нарастания тока ключа. Хотя фронты тока и напряжения перекрываются в момент нарастания фронта тока, потери на включение оказываются меньше, чем в аналогичной схеме повышающего регулятора напряжения.

Базовая топология рассмотренных преобразователей сводится к 4 элементам: два ключа, дроссель и конденсатор. Рассмотрение вышеописанной схемы для свободных колебаний позволяет прийти к виду схемы, при котором конденсаторы представляют разрыв, а индуктивности короткочку. Соответственно, она содержит лишь два ключа, и для свободных процессов не зависит от расположения LC элементов. В связи с расположением реактивных элементов и работы управляемого ключа, регуляторы различаются по виду топологии. Базовые топологии, содержащие резонансные элементы схемы для двух рассмотренных преобразователей сводятся к виду, представленному на рисунке ниже.

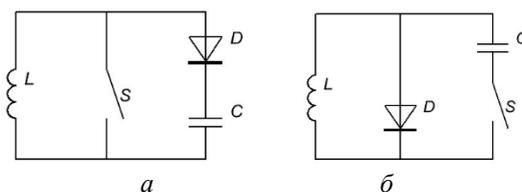


Рис. 4. Базовые топологии Квази-ШИМ преобразователей: а – понижающего, б – повышающего

Результаты

Были получены базовые топологии для квази-ШИМ преобразователей постоянного напряжения. Исследование рассматриваемых преобразователей на DC анализе позволило расширить семейство квазирезонансных преобразователей.

Заключение

Преобразователи на основе КвазиШИМ позволяет достичь условий квазирезонансной мягкой коммутации используя всего 1 управляющий ключ, в отличие от существующих методов, требующих не менее двух ключей. Данные схемы позволяют получить ШИМ управление за счет изменения коэффициента заполнения управляемого ключа, не изменяя основного алгоритма и без прибегания к частотному регулированию напряжения.

Схема понижающего преобразователя предпочтительнее, чем схема повышающего, поскольку во втором варианте из-за наличия входного резонансного дросселя присутствует пульсирующее потребление тока от входного источника.

Список литературы

1. Maksimovic D., Cuk S. Constant-Frequency Control of Quasi-Resonant Converters// IEEE Transactions of power electronics. – 1991. – Vol. 6. – P. 141–150.
2. Vorperian V. Quasi-square-wave converters: topologies and analysis// IEEE Transactions of power electronics. – 1988. – Vol. 3, № 2. – P. 183–191.

Зависимость возникновения мод в цилиндрическом волноводе от его радиуса и частоты сигнала

К.Э. Вагайцев

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н., В.А. Мещеряков
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: kirill135792223@mail.ru

The dependence of the occurrence of modes in a cylindrical waveguide on its radius and frequency of the signal

K.E. Vagaytsev

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D., V.A. Meshcheryakov
Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: kirill135792223@mail.ru

***Abstract.** The article discusses the effect of the radius and frequency of the signal on the mode structure of cylindrical waveguides. The relevance of the research is due to the growing demands on the performance and efficiency of communication systems, which requires a deep understanding of the mode characteristics of waveguides. For the analysis, the modeling method in the COMSOL Multiphysics software was used, which allows conducting numerical experiments with high accuracy. The created two-dimensional model of a cylindrical waveguide with a radius of 20 mm and an air material made it possible to study the mode characteristics when varying the input frequency from 1 GHz to 10 GHz and the waveguide radius from 5 mm to 20 mm. The results showed that changing the radius of the waveguide affects the frequencies of occurrence of various modes, with noticeable transitions between the main and higher modes in the frequency range from 4 GHz to 8 GHz.*

***Key words:** cylindrical waveguides, mode structure, electromagnetic waves, signal frequency, waveguide radius.*

Введение

Цилиндрическими волноводами называют направляющие системы в виде полых металлических цилиндров (труб) того или иного поперечного сечения, заполненных воздухом или другим диэлектриком [1]. Цилиндрические волноводы являются важными элементами в современных системах передачи электромагнитных волн, применяемых в таких областях, как оптика, радиосвязь и фотоника. Они обеспечивают эффективное направление и управление волновыми процессами, что критично для высокоскоростной передачи данных, лазерных технологий и сенсорных систем. Одним из ключевых параметров цилиндрических волноводов является их модовая структура, которая зависит от геометрических размеров, таких как радиус, а также от частоты передаваемого сигнала.

Актуальность исследования зависимости возникновения мод в цилиндрическом волноводе от его радиуса и частоты обусловлена растущими требованиями к производительности и эффективности коммуникационных систем. В условиях стремительного увеличения объема передаваемой информации и необходимости улучшения качества связи, понимание влияния этих параметров на модовые характеристики волноводов становится особенно важным. Это знание позволяет разрабатывать более оптимизированные структуры для различных диапазонов частот, что в свою очередь способствует повышению эффективности передачи данных и снижению потерь сигнала.

В волноводных системах могут возбуждаться различные типы волн, различающиеся структурой электромагнитного поля [2]. Волноводные моды находят из решения уравнений Максвелла при соответствующих граничных условиях. Такие задачи и методы их решения

описаны во многих учебных пособиях. Однако нам не удалось найти решения для регулярной структуры с использованием среды моделирования CST Studio Suite по причине зависимости волновых сопротивлений мод от частоты. Возникают трудности формирования портов согласования. Это можно сделать, но только для отдельной моды и в очень узкой полосе частот. В рамках данного исследования используется моделирование в программном комплексе COMSOL Multiphysics, который позволяет проводить численные эксперименты и анализировать модовые структуры цилиндрических волноводов с высокой точностью. COMSOL предоставляет мощные инструменты для решения уравнений Максвелла, что позволяет исследовать влияние радиуса и частоты на возникновение и распределение мод в волноводе.

Экспериментальная часть

Для моделирования была создана двумерная модель цилиндрического волновода, представляющая собой сечение волновода в плоскости с координатными осями r , φ . В качестве параметров волновода был взят радиус равный 20 мм и материал в виде воздуха с диэлектрическая проницаемость равной 1. При этом модель волновода учитывает бесконечное распространение вдоль продольной оси z .

Граничные условия были установлены таким образом, что стенки волновода моделировались как идеальные проводники (условие полного отражения), а входной порт был смоделирован как источник плоской волны, возбуждающий электромагнитные поля внутри волновода.

Для анализа характеристик мод проводилось варьирование частоты входного сигнала в диапазоне от 1 ГГц до 10 ГГц с шагом 0,5 ГГц и радиуса волновода в диапазоне от 5 мм до 20 мм с шагом 0,5 мм.

В рамках эксперимента было задано три основные моды для анализа: основная мода H_{11} , высшая мода H_{21} , первая высшая мода E_{01} .

Сетка для численного решения была сгенерирована автоматически, при этом учитывались области с высокой изменчивостью полей.

Результаты

Проводились модельные эксперименты по определению зависимости постоянной распространения (propagation constant) ряда мод от частоты и радиуса волновода. Результаты моделирования показали, как и следовало ожидать, что частоты отсечки определяют спектр возникновения мод их последовательность и классификацию по признаку «основная-высшие». Переходы между основными и высшими модами, были наблюдаемы в диапазоне частот от 4 ГГц до 8 ГГц при радиусе 20 мм (рис. 1).

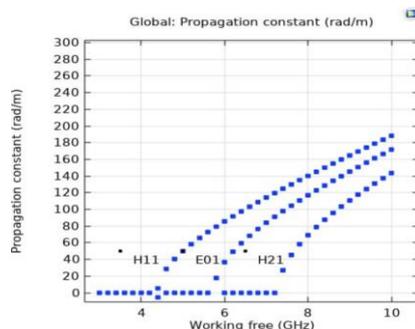


Рис. 1. Возникновение мод, с увеличением частоты (*Working free*) при радиусе 20 мм

Анализ зависимости модовых характеристик от радиуса волновода показал, что увеличение радиуса способствует появлению более высоких мод, а также изменению частот их возникновения. Например, для радиуса 15 мм основная мода H_{11} «появлялась» при

частоте около 6 ГГц, тогда как для радиуса 10 мм эта мода имела частоту отсечки около 8.8 ГГц, а моды H_{21} и E_{01} перестали распространяться рис. 2, 3.

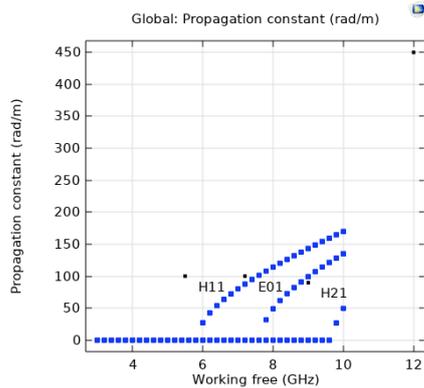


Рис. 2. Возникновение мод, при радиусе 15 мм

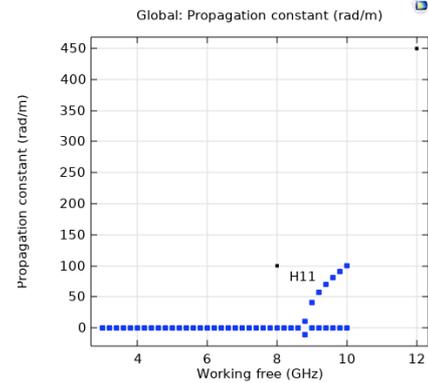


Рис. 3. Возникновение мод, при радиусе 10 мм

Полученные результаты подтверждают известные ранее зависимости параметра распространения радиуса волновода и частоты собственных мод волноводов. Этот метод моделирования имеет важное значение для проектирования многослойных волноводов с различными параметрами слоев.

Заключение

В ходе проведенного исследования была изучена зависимость модовой структуры цилиндрического волновода от радиуса и частоты передаваемого сигнала. Использование программного обеспечения COMSOL Multiphysics позволило эффективно выявлять ключевые характеристики, влияющие на распространение волн в волноводах.

Результаты численных экспериментов продемонстрировали, что изменение радиуса волновода существенно влияет на частоты возникновения мод. Увеличение радиуса способствует появлению более высоких мод и изменению частот их возбуждения, что подтверждает теоретические предположения. Наблюдения в диапазоне частот от 4 ГГц до 8 ГГц показали значительные переходы между основными и высшими модами, что подчеркивает важность учета этих параметров при проектировании волноводов для телекоммуникационных систем.

Полученные данные имеют практическое значение для разработки оптимизированных волноводов, что может значительно повысить эффективность передачи сигналов и снизить потери в системах связи. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния других факторов, таких как температура, материал волновода и геометрические особенности, что позволит еще больше улучшить характеристики передачи данных в современных коммуникационных системах.

Список литературы

1. Полухин Ю.Н. Цилиндрические волноводы: учебное пособие. – Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королева, 1971. – 72 с.
2. Моды // Большая российская энциклопедия: сайт. – 2024. – URL: <http://www.dpnews.ru/informatsionnye-tehnologii-v-zhurnalistike.html> (дата обращения 09.02.2025).

УДК 537.533.9

Электронно-лучевая пайка алюмооксидной керамики с титаном

С.М. Верхаланцев, С.А. Ендурев, К.С. Ларин

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: sergei.m.verkhalantsev@tusur.ru

Electron beam soldering of alumina ceramics with titanium

S.M. Verkhalantsev, S.A. Enduraev, K.S. Larin

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

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

E-mail: sergei.m.verkhalantsev@tusur.ru

Abstract. *The present study presents soldering of alumina ceramics with titanium by electron beam method. PRS-72 solder and aluminium foil were used for soldering. Soldering temperature was 700–800 °C. It is shown that in both cases the solder material completely melted to form a junction of the metal and ceramic parts.*

Key words: *Electron beam, solder, soldering, pre-vacuum.*

Введение

В современной промышленности металлы и керамика являются одними из важнейших классов материалов. При верном подборе элементов и правильном соединении их комбинация обладает стойкостью к воздействию высоких температур, электрических напряжений, имеет высокую механическую прочность. Эти качества необходимы для аэрокосмической, авиационной и электронной промышленности, металлургии и автомобилестроения [1].

Традиционные методы получения высокотемпературных соединений металла и керамики с помощью плавления сталкиваются с рядом проблем, возникающих из-за различия термомеханических свойств [2]. Эти проблемы являются причинами снижения прочности соединения. К наиболее распространенным способам соединения керамики с металлами можно отнести диффузионную сварку, лазерную сварку, сварку трением. У каждого из этих методов есть свои недостатки так, например, при диффузионной сварке происходит нагрев всего образца до температур порядка 1500 °C, а также требуется приложение давления, что ограничивает использование на хрупких деталях [3]. Поэтому возникает потребность в передовом и надежном методе соединения, одним из которых является электронно-лучевая пайка. В данной работе представлены результаты пайки алюмооксидной керамики с титаном с использованием локального нагрева форвакуумным плазменным источником сфокусированного электронного пучка.

Экспериментальная часть

Пайка проводилась пучком низкоэнергетических электронов с энергией 2–10 кэВ в атмосфере гелия при давлении в рабочей камере 10 Па [4]. Источник электронов устанавливался на вакуумную камеру, откачиваемую механическим форвакуумным насосом до давления 2 Па, с последующим напуском рабочего газа (гелия) до необходимого давления. Пайка осуществлялась за счет нагрева соединенных вместе и прижатых с помощью болтового соединения пластинок керамики, припоя и металла. Для равномерного прогрева использовалась развертка электронного пучка по квадрату с размерами сторон $2 \times 2 \text{ см}^2$. Температура пайки составляла от 700 до 800 °C. При достижении температуры поверхности керамики нагрев прекращался и при этой температуре образец выдерживался в

течение 5 минут. Температура поверхности контролировалась инфракрасным пирометром Raytek 1NM с диапазоном измерения 550–3000 °С. Схема установки представлена на рис. 1.

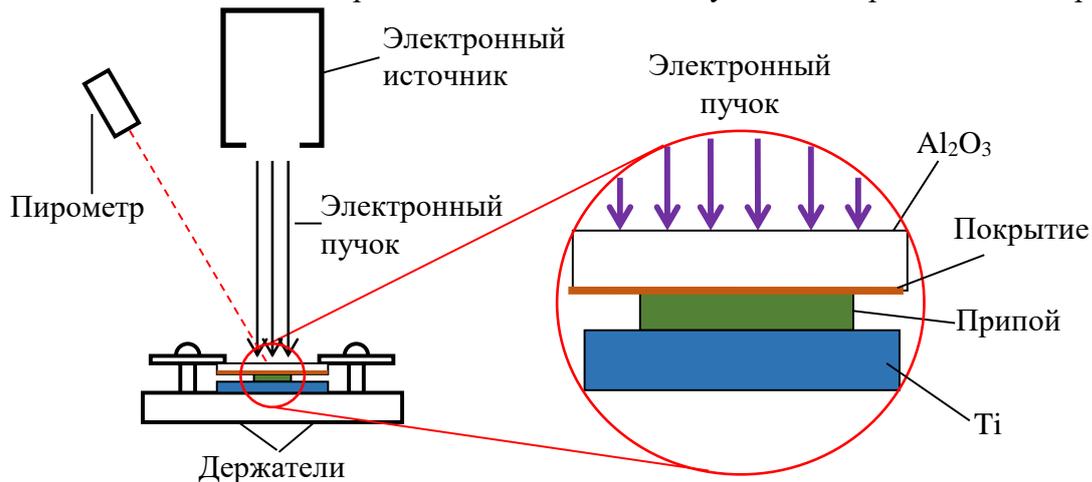


Рис. 1. Схема установки

Результаты

Были получены спаянные образцы алюмооксидной керамики с титаном с использованием припоя ПСР72 и алюмооксидной керамики с титаном, при которой припоем выступала алюминиевая фольга толщиной 100 мкм.

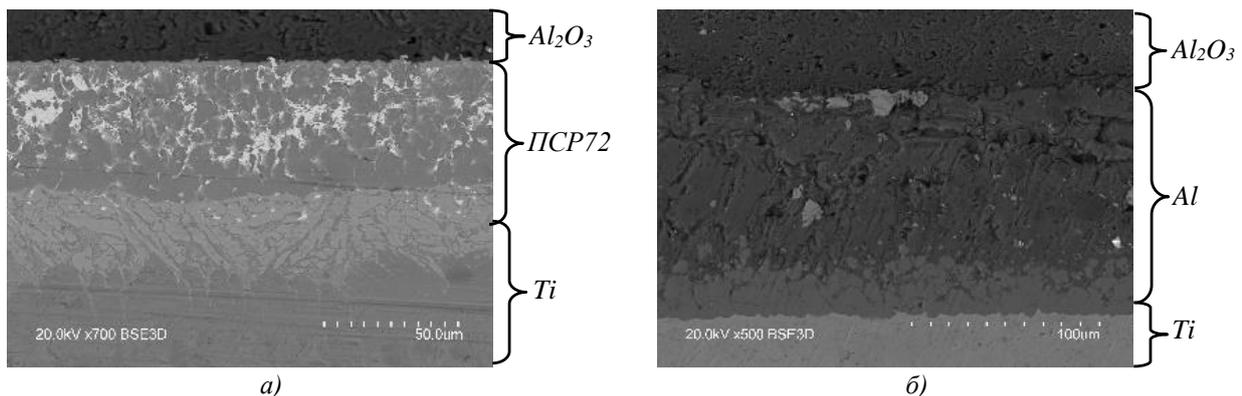


Рис. 2. Снимки срезов соединения образцов: Образец Al_2O_3 -ПСП72-Тi (а); Образец Al_2O_3 -Al100um-Тi (б)

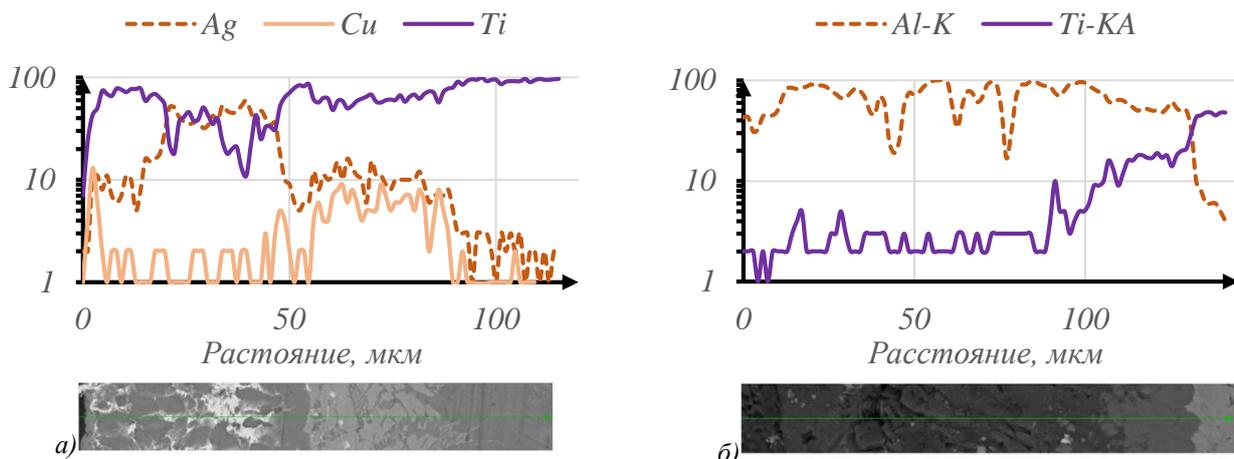


Рис. 3. Элементный состав образцов: Образец Al_2O_3 -ПСП72-Тi (а); Образец Al_2O_3 -Al100um-Тi (б)

Соединения не разрушались при ручных манипуляциях. Полученные образцы были исследованы на электронном микроскопе Hitachi TM1000. Снимки и элементный состав

образцов вдоль области пайки представлены на рисунках 2 и 3 соответственно. На снимках можно заметить четкие границы разделов припоя и керамики. В то же время на границе алюминия (рис. 2, б) с титаном наблюдается как формирование диффузионного слоя и интерметаллидных фаз. Основной причиной образования интерметаллидов на границе раздела фаз является растворение Al_2O_3 с образованием твердого раствора $Ti[Al,O]$ [5]. Наиболее вероятно образование Ti_3Al , поскольку как известно [6] такая фаза является равновесной фазой при температурах ниже $800\text{ }^\circ\text{C}$ и обладает более высокой растворимостью по отношению к O, чем $TiAl$. При температуре до $750\text{ }^\circ\text{C}$ реакция между Al_2O_3 и интерметаллидами Ti_3Al несколько ограничена, однако реакции с $TiAl$ отсутствуют вовсе [7], следовательно, также возможно изменение состава в пользу более проницаемого материала Ti_3Al при охлаждении. На границе (рис. 2, а) титана с припоем ПСР-72 наблюдается формирование игольчатых кристаллов меди и проникновением титана по припою практически до границы с керамикой (рис. 3, а). На образце керамики с титаном при помощи припоя можно заметить, что медь, содержащаяся в припое, наблюдается в основном у границы припоя с керамикой и титаном. На образце керамики с титаном с использованием алюминиевой фольги видно, что титан наблюдается также в области припоя. Возможно, произошло образование интерметаллидных фаз алюминия с титаном, что требует дальнейшего изучения. Кроме того, при использовании алюминиевой фольги в качестве припоя в формируемом переходном слое наблюдается образование пор и вкраплений титана. Возможно, их появление связано с условиями подготовки образцов и попаданием в область шва в процессе шлифовки.

Заключение

В результате проведенных исследований получено соединение керамики на основе оксида алюминия с титаном с использованием как коммерческого припоя ПСР-72, так и алюминиевой фольги. В обоих случаях при одинаковых условиях облучения и времени выдержки получены соединения металлической и керамической частей образцов.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках конкурса FEWM-2023-0012.

Список литературы

1. Jadoon A.K. Metal to ceramic joining for high temperture applications: a thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy – Brunel University, 2003. – 139 с.
2. Mir F.A., Khan N.Z., Parvez S. Recent advances and development in joining ceramics to metals. // Mater. Today Proc. – 2021. – № 46. – P. 6570–6575.
3. Kazakov N.F., Zharkikh A.A., Braun A.G., Sergeev A.V. Diffusion welding of ceramics with metals. // Glas. Ceram. – 1983. – № 40. – P. 262–265.
4. Zenin A.A., Bakeev I.Y., Klimov A.S. Forevacuum-pressure plasma-cathode high-power continuous electron beam source // Review of Scientific Instruments. – 2020. – Vol. 91, № 3. – P. 033303.
5. Kliauga A. M., Ferrante M. Interface compounds formed during the diffusion bonding of Al_2O_3 to Ti //Journal of materials science. – 2000. – Vol. 35. – P. 4243–4249.
6. Li X.L., Hiller R., Teyssandier F., Choi S.K., Van Loo F.J.J. Reactions and phase relations in the $TiAlO$ system // Acta metallurgica et materialia. – 1992. – Vol. 40. – P. 3149–3157.
7. Zalar A., Baretzky B.M.M., Hofmann S., Ruhle M., Panjan P. Interfacial reactions in Al_2O_3/Ti , Al_2O_3/Ti_3Al and $Al_2O_3/TiAl$ bilayers // Thin Solid Films. – 1999. – Vol. 352. – P. 151–155.

Экспериментальное исследование четырехслойной зеркально-симметричной структуры в дифференциальном режиме

С.В. Власов, М.С. Мурманский

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: Lukashinka12@gmail.com

Experimental study of four-layer reflection-symmetric structure in differential mode

S.V. Vlasov, M.S. Murmanskyy

Scientific Supervisor: Ph.D. Y.S. Zhechev

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

E-mail: Lukashinka12@gmail.com

Abstract. *A four-layer reflection-symmetric structure has been experimentally investigated in differential mode. Results in both the time and frequency domains show a bandwidth of 947 MHz and a UWB EMI suppression of 9 times. The discrepancy between the results is attributed to the influence of connectors used for measurement. Also, there are no pronounced resonances at 2.5, 3.7, 4.2, and 5.8 GHz in the simulation, which affect the amplitude of the time-domain responses at the end of the structure.*

Key words: *electrodynamics simulation, time domain analysis, differential pair.*

Введение

Скорость передачи данных в современном мире продолжают расти, и для обеспечения таких высоких скоростей используют дифференциальные линии передачи (ЛП). Существуют устройства и интерфейсы, функционирующие в дифференциальном режиме, такие как интерфейсы LVDS, которые находят широкое применение в современной электронике [1]. Однако такие устройства подвержены влиянию кондуктивных электромагнитных помех, включая внешние электромагнитные воздействия, они могут существенно снижать качество передачи данных [2]. Для обеспечения стабильной работы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) необходимо принимать меры для защиты РЭА от электромагнитных помех (ЭМП). К примеру, в [3] исследовались две дифференциальные ЛП для подавления сверхширокополосных кондуктивных ЭМП. В [4] применяется машинное обучение для синтеза ключевых параметров, влияющих на подавление кондуктивных ЭМП в дифференциальных ЛП. Однако ранее проведение лабораторного эксперимента зеркально-симметричной (З-С) структуры в дифференциальном режиме передачи сигнала не рассматривалось. Поэтому, целью работы является проведение лабораторного исследования З-С структуры в дифференциальном режиме.

Экспериментальная часть

За основу взята четырехслойная З-С структура, представленная в [5]. На рис. 1 представлен прототип изготовленной печатной платы (ПП) и лабораторная установка для измерения S -параметров. На ПП расположены круглые переходные отверстия, которые необходимы для заземления двух центральных слоев. Лабораторный эксперимент проведен на векторном анализаторе цепей (ВАЦ) P4M-18/1.

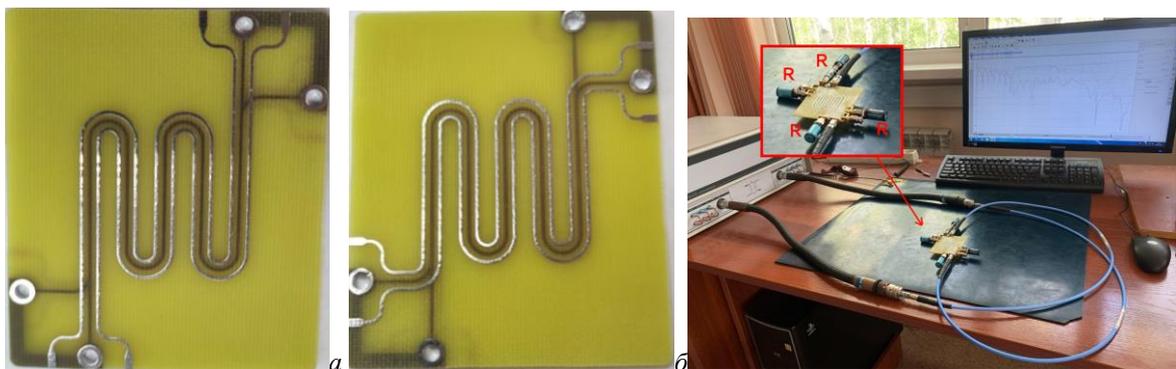


Рис. 1. Изготовленный прототип ПП: вид сверху (а) и снизу (б), а также лабораторная установка (в)

После измерения на ВАЦ значения S -параметров можно скомбинировать при помощи системы автоматизированного проектирования (САПР) и получить на выходе матрицу $[4 \times 4]$.

Результаты

После комбинации S -параметров исследуемая структура была проанализирована во временной и частотной областях. Временной отклик и коэффициент передачи в дифференциальном режиме ($|S_{dd21}|$) представлены на рис. 2. В качестве помехового сигнала использован Гауссов импульс с шириной спектра 0,1–6 ГГц, соответствующий определению сверхширокополосной (СШП) ЭМП [6].

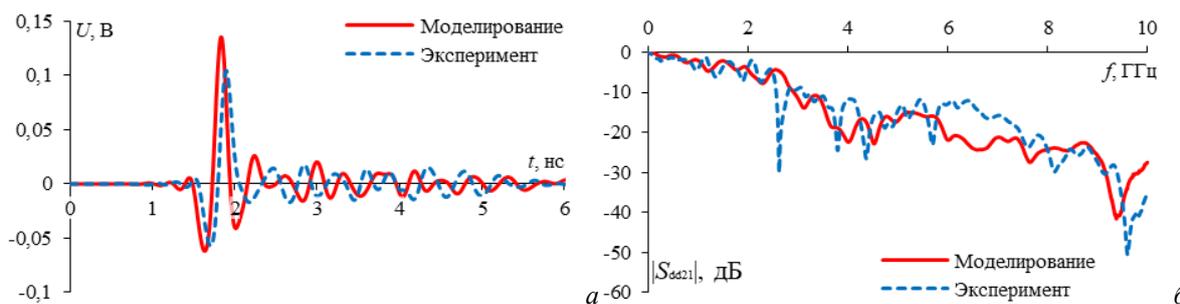


Рис. 2. Временной отклик (а) и $|S_{dd21}|$ (б) для исследуемой структуры в дифференциальном режиме

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что результаты моделирования и эксперимента между собой хорошо согласуются. При моделировании полоса пропускания исследуемой структуры составила 900 МГц, а при эксперименте – 947 МГц. Анализ во временной области показывает, что амплитуда СШП ЭМП при эксперименте и моделировании составила 110 и 145 мВ, соответственно. Разница между результатами может быть обусловлена влиянием разъемов для измерения. Также отсутствуют ярко выраженные резонансы на частотах 2,5, 3,7, 4,2 и 5,8 ГГц при моделировании, что обуславливает разницу во временных откликах. Они в свою очередь очень сильно влияют на подавление СШП ЭМП поскольку ее частотный спектр лежит в этом диапазоне.

Заключение

В работе представлено моделирование и лабораторный эксперимент четырехслойной 3-С структуры в дифференциальном режиме. Результаты показали, что моделирование и эксперимент между собой хорошо согласуются. Ослабление СШП помехи составило при моделировании 7,69 раз, а при эксперименте – 9 раз относительно амплитуды э.д.с. Полоса пропускания при моделировании составила 900 МГц, а при эксперименте 947 МГц.

Максимальное ослабление в полосе заграждения составляет для моделирования и эксперимента минус 52 и минус 44 дБ, соответственно.

Работа выполнена в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

Список литературы

1. Standard 1596.3-1996. IEEE publisher. Standard for Low-Voltage Differential Signals (LVDS) for Scalable Coherent Interface (SCI). – IEEE Standards Association. – 1996. – 34 p.
2. Гизатуллин З.М. Помехоустойчивость средств вычислительной техники внутри зданий при широкополосных электромагнитных воздействиях. – Казань: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2012. – 254 с.
3. Власов С.В. Способ трассировки двух дифференциальных пар с сильной электромагнитной связью между парами // Перспективы развития фундаментальных наук : Сборник научных трудов XXI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2024. – С. 18–20.
4. Павлов Н.С., Власов С.В. Применение машинного обучения для анализа частотных характеристик двух связанных дифференциальных пар // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник научных трудов XXI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2024. – С. 15–17.
5. Власов С.В., Жечев Е.С. Анализ четырехслойной зеркально-симметричной структуры в дифференциальном режиме при воздействии помеховых импульсов // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Том 7. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. – С. 37–39.
6. IEC Standard 61000-1-5:2004. IEC. High Power Electromagnetic (HPEM) Effects on Civil Systems. – 2004. – 43 p.

УДК 004.94

**Предиктивное управление сложными технологическими системами
на базе цифровых двойников**

В.И. Горохов, А.Д. Рязанов

Научный руководитель: ст. преподаватель Е.А. Потапова
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: vova-gorohov04@mail.ru

Predictive control of complex technological systems based on digital twins

V.I. Gorohov, A.D. Ryazanov

Scientific Supervisor: senior lecturer E.A. Potapova
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: vova-gorohov04@mail.ru

Abstract. *This paper presents an advanced model predictive control (MPC) approach for complex technological systems utilizing digital twin technology. The proposed framework integrates real-time sensor data with historical process information to continuously train and update a predictive model. The digital twin enables the system to adapt dynamically to changes in process parameters through the application of advanced optimization algorithms and MPC techniques. Experimental results demonstrate significant improvements over traditional control methods, including 26.5 % reduction in control error, 4.7 % decrease in energy consumption, and enhanced system reliability with reduced downtime periods. The methodology has been validated through extensive simulations and is applicable to a wide range of industrial processes, providing a solid foundation for future research in adaptive and self-learning control systems.*

Key words: *predictive control, digital twin, model predictive control, industrial optimization, adaptive systems.*

Введение

В современных промышленных условиях технология цифровых двойников позволяет в режиме реального времени детально воспроизводить и прогнозировать поведение реальных объектов [1]. Их главное преимущество заключается в возможности интегрировать как текущие показания датчиков, так и накопленные исторические данные, обеспечивая высокоточный анализ различных рабочих сценариев.

Предиктивное управление (Model Predictive Control, MPC) является одним из эффективных методов оптимизации управляющих воздействий, учитывающим текущее состояние системы и прогнозируемые будущие отклонения [2]. Сочетание MPC с цифровыми двойниками позволяет непрерывно адаптировать параметры управления при изменениях характеристик объекта и внешних возмущениях.

Цель данной работы – разработать комплексную методику предиктивного управления с использованием цифровых двойников для точной корректировки управляющих действий в промышленных системах с динамически меняющимися параметрами).

Экспериментальная часть

Для решения поставленной задачи разработана многоуровневая структура цифрового двойника, включающая дифференциальные уравнения динамики процесса, эмпирические зависимости параметров и самообучающиеся модули. Параметры модели пересчитываются на основе реальных измерений и накопленных данных (Bayesian updating), формируя уточнённые прогнозы. Математическое представление модели имеет вид:

$$x(k + 1) = f(x(k), u(k), \theta(k)) + w(k), \quad y(k) = g(x(k), \theta(k)) + v(k),$$

где $x(k)$ – вектор состояния, $u(k)$ – управляющие воздействия, $y(k)$ – выходные переменные, $\theta(k)$ – вектор параметров модели, $w(k)$ и $v(k)$ – шумы процесса и измерений.

Предиктивное управление (МРС)

Основу управления составляет решение задачи оптимизации на подвижном горизонте предсказания. При этом учитываются ограничения на управляющие и выходные переменные [2, 5]. В классической постановке целевая функция имеет вид:

$$J = \sum_{i=1}^N [y(k+i|k) - r(k+i)]^T Q [y(k+i|k) - r(k+i)] + \sum_{i=0}^{N-1} u(k+i)^T R u(k+i),$$

где $u \in [u_{\min}; u_{\max}]$, $y \in [y_{\min}; y_{\max}]$, N – горизонт предсказания, $r(k+i)$ – заданные выходные переменные, Q и R – весовые матрицы.

Оптимизационные алгоритмы

Для решения возникающих в реальном времени задач оптимизации применяются улучшенные методы внутренней точки [3] и конусные решатели при использовании $L1$ -нормы для штрафа по Δu . Это обеспечивает вычислительную эффективность при сложных ограничениях и размерностях состояния до 15–20. Горизонт предсказания (в типовых экспериментах 8–20 шагов) и весовые коэффициенты подбирались методом кросс-валидации.

Адаптивное обновление параметров цифрового двойника

В отличие от классического МРС, где параметры модели считаются постоянными, в цифровом двойнике коэффициенты K и τ регулярно уточняются на основе фактического отклика системы. Для этого может использоваться градиентоподобное правило:

$$\begin{aligned} K_{\text{new}} &= K_{\text{old}} + \beta \Delta K, \\ \tau_{\text{new}} &= \tau_{\text{old}} - \beta \Delta \tau, \end{aligned}$$

где ΔK и $\Delta \tau$ вычисляются по результатам сравнения предсказанного выходного сигнала с реальным (ошибки идентификации), β – коэффициент сглаживания.

Подобная стратегия позволяет компенсировать как резкие изменения параметров объекта, так и накопление ошибок моделирования.

Сравнение методов

Эффективность оценивалась для трёх вариантов:

- 1) ПИД-регулятор,
- 2) классический МРС без цифрового двойника,
- 3) МРС с цифровым двойником (предлагаемый подход).

Результаты

Расчёты проводились в среде Python с использованием библиотеки CVXPY. В качестве объекта исследовался дискретизированный динамический процесс с несколькими переключениями параметров и стохастическим возмущением. Для оценки качества управления рассчитывались интеграл абсолютной ошибки (IAE), энергопотребление (Energy). Сравнение представлено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение показателей при различных методах управления

Метод	IAE	Energy
PID	2,062869	2,342292
MPC_noTwin	2,148391	2,263260
MPC_DigitalTwin	1,516017	2,232657

Видно, что интеграция цифровых двойников даёт улучшение точности регулирования (IAE снижается на 26,7 % по сравнению с ПИД-регулятором) и уменьшает энергозатраты на 4,6 %.

Заключение

Предложена и экспериментально обоснована методика предиктивного управления сложными технологическими системами, основанная на интеграции цифровых двойников с алгоритмами MPC. Полученные результаты показывают существенное повышение эффективности управления и снижение энергозатрат. Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием самообучающихся моделей цифровых двойников и интеграцией многокритериальных функций стоимости для более тонкой настройки управления в условиях быстро меняющихся внешних условий [4, 5].

Список литературы

1. Зенков С.Г. Цифровые двойники в промышленности. – Москва : Техносфера, 2021. – 312 с.
2. Camacho E.F., Bordons C. Model Predictive Control. – London : Springer, 2004. – 199 p.
3. Назаров А.Ю. Применение методов внутренней точки в задачах оптимизации // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2019. – № 11. – С. 45–52.
4. Фомин Д.К., Румянцев И.П. Цифровой двойник и предиктивное управление: опыт промышленного внедрения // Системы управления и информационные технологии. – 2023. – № 2. – С. 78–87.
5. Qin S.J., Badgwell T.A. A survey of industrial model predictive control technology // Control Engineering Practice. – 2003. – Vol. 11, № 7. – P. 733–764.

Влияние разряда на нагрев эмиссионного электрода форвакуумного плазменного источника ленточного пучка электронов

Ж.Э. Дагри, А.В. Долгова

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

Effect of the discharge on the heating of the emission electrode of a forevacuum plasma source of a ribbon electron beam

J.E. Dagri, A.V. Dolgova,

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

***Abstract.** The dependences of the emission electrode temperature on the discharge current in a forevacuum plasma electron source are presented. The pressure range of 0.1-10 Pa is investigated when the source is operating in a helium and air environment. It is shown that the temperature of the emission electrode is determined by the discharge current, the duration of operation of the source and the working gas used, as well as the range of operating pressures. The highest temperature of the emission electrode is observed when operating in helium and high vacuum.*

***Key words:** Glow discharge, hollow cathode, ribbon electron beam, thermal condition.*

Введение

Источники ленточных электронных пучков, находят применение в различных отраслях науки и техники. Привлекательно использование таких пучков для создания плазменного образования большой площади с параметрами плазмы пригодными для осуществления плазмохимических реакций, травления, осаждения различных покрытий формирования СВЧ излучения и др. [1]. Эффективная ионизация газа напрямую зависит от параметров электронного пучка, давления и рода газа. Оптимальный диапазон давлений для создания пучковой плазмы лежит в интервале 0,1–10 Па и в таком диапазоне источники электронов с плазменным катодом практически не имеют альтернативы. Форвакуумные плазменные источники ленточных пучков сохраняют работоспособность в указанном диапазоне давлений и позволяют создавать пучки электронов с током до 400 мА и энергией 8 кэВ. Площадь сечения таких пучков напрямую зависит от площади эмиссионной поверхности в связи с чем эмиссионный электрод выполняется протяженным с площадью несколько десятков квадратных сантиметров [2]. В процессе работы источника полый катод и анод подвергаются воздействию потоков ионов и электронов, что приводит к их нагреву. Не всегда удается осуществить эффективный теплоотвод от этих электродов. Кроме того, нагрев эмиссионного электрода может быть за счет обратного ионного потока из плазмы образующейся в области транспортировки электронного пучка. Все эти факторы могут негативно сказаться на продолжительности работы источника. В настоящей работе представлено исследование нагрева эмиссионного электрода форвакуумного плазменного источника электронов при работе в среде различных газов в диапазоне давлений 0,1–10 Па [3]. Понимание механизмов нагрева и распределения температуры по поверхности анода позволит выбирать режимы работы источника в зависимости от требуемого тока электронного пучка и продолжительности работы.

Экспериментальная часть

Эксперименты проводились на макете разрядной системы форвакуумного плазменного электронного источника ленточного электронного пучка, рис. 1.

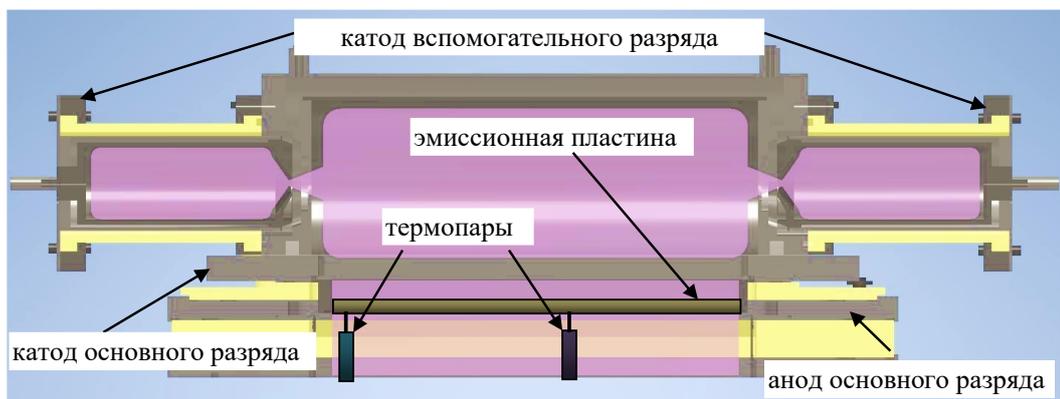


Рис. 1. Схема плазменного электронного источника вакуума

Макет состоял из полого катода основного разряда цилиндрической формы. На торцах полого катода располагались катоды вспомогательного разряда также в виде цилиндров. Анод источника представлял собой пластину с внутренним охлаждением. В центральной части пластины вдоль ее протяженного размера было выполнено эмиссионное окно. В процессе работы происходил нагрев эмиссионной пластины и сетки расположенной на ней и служащей для стабилизации плазменной границы. Измерение температуры эмиссионной пластины осуществлялось термопарами. В качестве рабочих газов использовались гелий и воздух. Давление устанавливалось на уровне 10 Па и 0,2 Па. Ток основного разряда изменялся в пределах 300–900 мА, с шагом 300 мА. Ток дополнительных разрядов в пределах 400–600 мА.

Результаты

При работе форвакуумного электронного источника температура эмиссионной пластины измерялась в течение 30 минут с интервалом 5 минут. Продолжительность работы источника, конечно, превышает указанный интервал, но для определения тенденций нагрева был выбран именно получасовой интервал времени. Как показали эксперименты наибольшая скорость роста температуры наблюдается в первые 10–15 минут работы, рис. 2, причем температура в области низких давлений оказывается ниже на несколько десятков градусов.

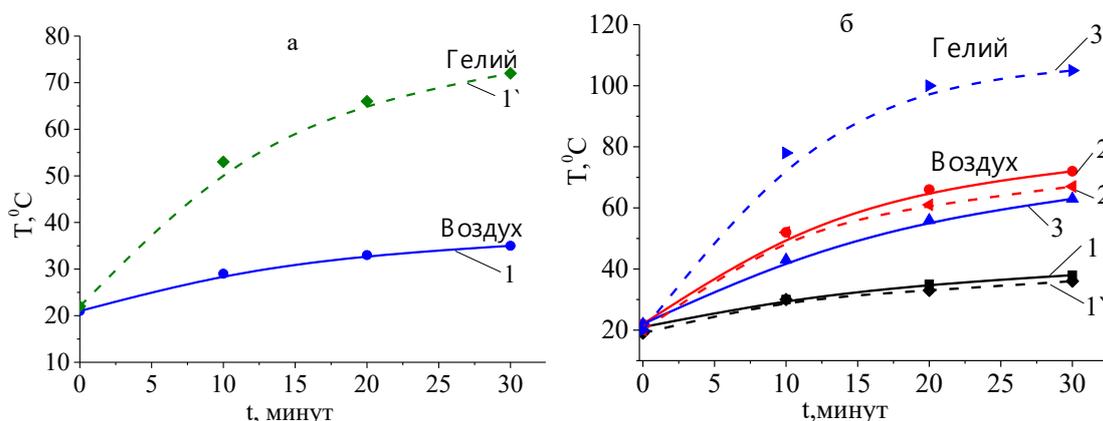


Рис. 2. Зависимость температуры эмиссионного электрода от времени горения разряда для различных газов и давлений: а – 0,1 Па, б – 10 Па. Воздух – сплошная линия, гелий – пунктир. Ток разряда: 1, 1' – 300 мА, 2, 2' – 600 мА, 3, 3' – 900 мА

С ростом тока разряда температура ожидаемо повышается. Стоит отметить, что температура эмиссионного электрода для всех исследованных газов и давлений в центральной части оказывается на несколько градусов выше чем на периферии, что связано с значительно меньшим теплоотводом из этой области. Кроме влияния тока разряда температура оказалась существенно зависящей от рода газа. Для гелия температура выше, чем для воздуха при тех же значениях давлений и токах разряда, рис. 3.

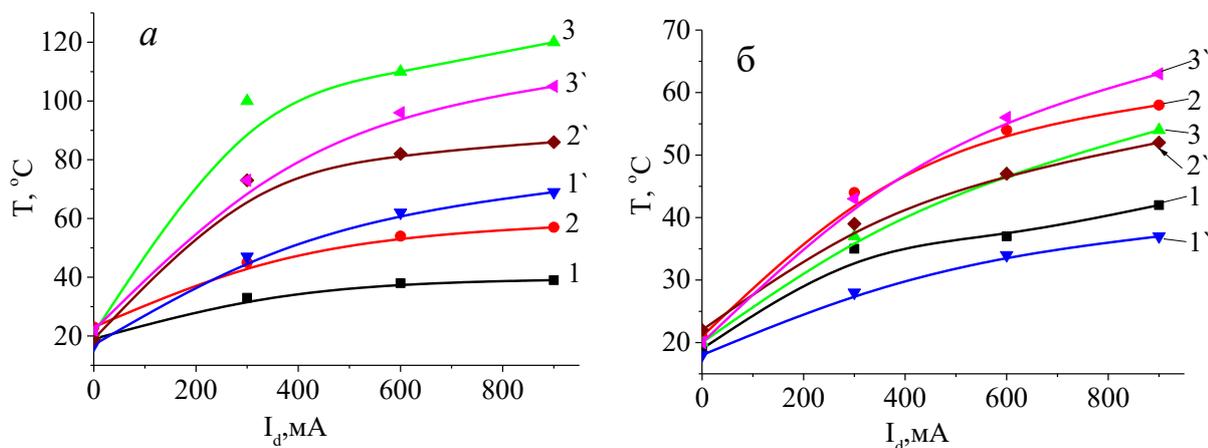


Рис. 3. Зависимость температуры эмиссионного электрода от тока разряда для различных газов а – гелий, б – воздух. Давлений: 1, Ток разряда: 1 – 300 мА, 2 – 600 мА, 3 – 900 мА

Более высокое значение температуры в области низких значений связано с отсутствием теплоотвода за счет конвекции – не смотря на низкое давление конвекционные потоки в вакууме все же играют роль в теплообмене. Это также подтверждается более высоким значением температуры эмиссионного электрода при работе в среде гелия, обладающего более низким значением теплопроводности в низком вакууме.

Заключение

Эта исследовательская работа позволила нам узнать о влиянии давления и тока разряда на температуру электроники. При очень низком давлении температура повышается в зависимости от используемого газа. В зависимости от вакуума, в котором проводится эксперимент, можно наблюдать другое поведение. Атмосферное давление, ток разряда и тип вакуума оказывают влияние на электронную температуру электронов, поступающих из плазменного источника электронного пучка.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда, проект №24-29-00358.

Список литературы

1. Денисов В.В., Ахмадеев Ю.Х., Коваль Н.Н, Ковальский С.С, Педин Н.Н, Яковлев В.В. Генерация плазмы в импульсном режиме несамостоятельного дугового разряда с комбинированным накаливаемым и полым катодом // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2019. – Т. 62, № 3. – С. 138–142.
2. Бугаев С.П., Крейнделъ Ю.Е., Щанин П.М. Электронные пучки большого сечения. – Москва: Энергоиздат, 1984 – 113 с.
3. Klimov A.S., Bakeev I.Yu., Dagri E.J., Dolgova A.V., Oks E.M., Zenin A.A. Extending the Operating Pressure Range of a Forevacuum-Pressure Plasma-Cathode Ribbon Electron Beam Source // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2024. – Vol. 52, № 7. – P. 2786–2791.

Влияние геометрии фокусирующей системы плазменного источника электронов на диаметр пучка в форвакуумной области давлений

А.В. Долгова, А.А. Зенин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: weatheraregood@gmail.com

Influence of the geometry of the focusing system of a plasma electron source on the beam diameter in the forevacuum pressure range

A.V. Dolgova, A.A. Zenin

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: weatheraregood@gmail.com

***Abstract.** This study shows the possibility of using 3 different magnetic focusing systems to focus an electron beam during its propagation in a forevacuum. It was possible to achieve electron beam diameter values of 4-7 mm at an accelerating voltage of 10 kV.*

***Key words:** electron-beam surfacing, pre-vacuum pressure range, ceramics powder, focusing system.*

Введение

Технология электронно-лучевой наплавки предназначена для упрочнения, восстановления и модификации поверхностей, подвергающихся интенсивным агрессивным воздействиям. В настоящее время исследуются области применения технологии электронно-лучевой наплавки как в условиях вакуума [1–3] так и при выводе электронного пучка в атмосферу [4, 5].

Одним из перспективных методов электронно-лучевой наплавки может стать наплавка керамических и металлокерамических порошков на металлы в форвакуумной области давлений (3–30 Па). Переход в указанный диапазон давлений позволяет обеспечить эффективность взаимодействия электронного пучка с порошковым материалом за счёт снижения зарядки порошка [6] в процессе его наплавки в форвакуумной области давлений.

Для осуществления прецизионной электронно-лучевой наплавки необходимо обеспечить фокусировку электронного пучка для достижения минимального значения диаметра электронного пучка в области его взаимодействия с мишенью.

Целью работы является определение влияния геометрии фокусирующей системы на диаметр электронного пучка в форвакуумной области давлений.

Экспериментальная часть

Экспериментальная установка, на которой проводились эксперименты по измерению диаметра пучка показана на рис. 1. Электронный источник состоит из разрядной системы – полого катода 1 в виде цилиндра, плоского анода 3 с эмиссионным окном, в котором располагается перфорированный электрод 4 со 120 эмиссионными отверстиями диаметром 0,75 мм каждое, и экстрактора 6 в форме усеченного конуса. Сформированный электронный пучок 5 фокусировался с помощью фокусирующей системы 7, представляющей из себя цилиндрическую фокусирующую катушку.

Для измерения диаметра пучка использовался метод оценки профиля пучка в поперечном сечении с помощью устройства с вращающимся зондом 8 [7]. В процессе работы устройство осуществляет сканирование пучка зондом, сигнал с зонда регистрируется осциллографом. При пересечении пучка зонд отбирает часть тока пучка. В конечном счете зарегистрированный сигнал – это зависимость тока, отобранного зондом, от координаты, совпадающей с направлением движения зонда в изучаемом поперечном сечении.

По полученным осциллограммам тока, протекающего через зонд, можно оценить диаметр пучка, который определяется на полувысоте распределения тока. Сфокусированный электронный пучок попадал на коллектор 9, где с помощью амперметра регистрировалось значение силы тока, приносимого электронным пучком.

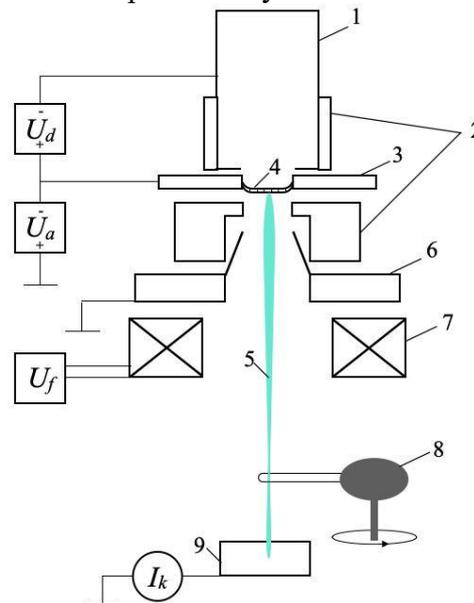


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – полый катод; 2 – изолятор; 3 – анод; 4 – перфорированный электрод; 5 – электронный пучок; 6 – экстрактор; 7 – фокусирующая система; 8 – вращающийся двойной зонд; 9 – коллектор; U_d – источник питания разряда; U_a – источник ускоряющего напряжения; U_f – источник питания фокусирующей системы; I_k – амперметр для измерения тока коллектора

Проводились серии экспериментов для различных фокусирующих систем: ФК1, ФК2, ФК3, параметры которых представлены в табл. 1. Через определенные промежутки времени фиксировались значения тока эмиссии, и осциллограммы тока, протекающего через зонд, при значении напряжения фокусировки, необходимом для достижения минимального диаметра пучка в кроссовере.

Таблица 1

Параметры фокусирующих систем

	Внешний диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Высота, мм	Сопротивление Ом
ФК1	120	80	50	89
ФК2	81	60	170	133
ФК3	130	120	680	14

Результаты

Серия экспериментов по измерению диаметра пучка проводилась при значении ускоряющего напряжения 10 кВ с постепенным увеличением тока эмиссии. На рис. 2 приведена зависимость диаметра пучка от тока эмиссии для 3 фокусирующих систем.

Получить электронный пучок с минимальным диаметром удалось при использовании фокусирующей системы ФК3, диаметр пучка в таком случае находился в диапазоне от 4 мм до 5 мм. Наибольшее значения диаметра электронного пучка наблюдалось при использовании фокусирующей системы ФК1 и составляло 7 мм.

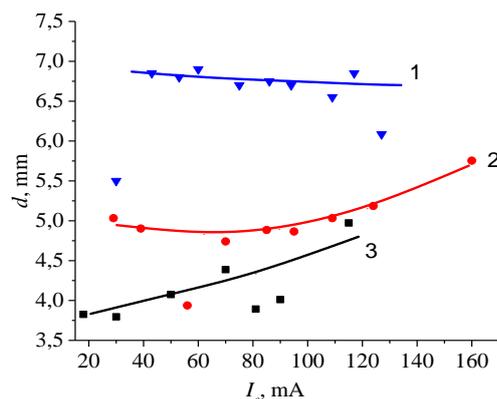


Рис. 2. Зависимость диаметра пучка от тока эмиссии для различных геометрий фокусирующей системы: 1 – ФК1; 2 – ФК2; 3 – ФК3

Результаты экспериментов показали, что при использовании фокусирующей системы ФК1 диаметр электронного пучка при увеличении тока эмиссии практически не изменяется, в то время как при использовании фокусирующих систем ФК2 и ФК3 с ростом тока эмиссии диаметр электронного пучка увеличился на 10 %.

Заключение. В результате проведенного исследования выявлена возможность использования всех предложенных фокусирующих систем для фокусировки электронного пучка до значения диаметра от 4 мм до 7 мм в кроссовере.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-10037, <https://rscf.ru/project/24-79-10037/>.

Список литературы

1. Белюк С.И., Самарцев В.П., Гальченко Н.К., Дампилон Б.В., Раскошный С.Ю., Колесникова К.А. Электронно-лучевая наплавка в черной металлургии // Физическая мезомеханика. – 2006. – № 9 (S1). – С. 157–160.
2. Варушкин С.В., Трушников Д.Н., Саломатова Е.С., Беленький В.Я., Пермяков Г.Л. Многослойная электронно-лучевая наплавка проволочным материалом // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2019. – № 4. – С. 89–94.
3. Воробьев А.С., Батраков В.Н., Каменева А.Л. Оптимизация режима наплавки порошкового припоя ВПР11-40Н электронно-лучевым методом // Совершенные технологии и реверс-инжиниринг. – 2023. – С.172–176.
4. Ogneva T.S., Emurlaev K.I., Kuper K.E., Malyutina N.Yu., Domarov E.V., Chakin I.K., Skorokhod K.A., Ruktuev A.A., Nasennik I.E., Bataev I.A. Al-Co-Cr-Fe-Ni high-entropy coatings produced by non-vacuum electron beam cladding: Understanding the effect of Al by in-situ synchrotron X-ray diffraction // Applied Surface Science. – 2024. – V. 665. – P 160367.
5. Samoilenko V.V., Lozhkina E.A., Polyakov I.A., Lenivtseva O.G., Ivanchik I.S., Matts O.E. The study of the modes of Ta-Zr powder mixture non-vacuum electron-beam cladding on the surface of the cp-titanium plates // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. – 2016. – V. 156. – P. 012024
6. Бурдовицин В.А., Золотухин Д.Б., Зенин А.А., Окс Е.М., Тюньков А.В., Юшков Ю.Г. Новые возможности применения форвакуумных плазменных источников в технологических процессах электронно-лучевой обработки диэлектрических материалов // Доклады ТУСУР. – 2017. – № 3. – С. 70–75.
7. Младенов Г.М. Электронно-лучевая сварка: монография – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 374 с.

Fraud detection using Kolmogorov-Arnold Network

N.T.G. Zeutouo

Scientific supervisor: Prof., E.Yu. Kostyuchenko

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

E-mail: gnolack98@gmail.com

Abstract. *With the rise of mobile payment services, new opportunities for illegal activities and fraud have emerged, prompting technology companies and financial institutions to prioritize rapid fraud detection. This research presents a financial fraud detection model based on the Kolmogorov-Arnold Network (KAN), a novel neural network technique developed by MIT researchers in 2024. By using the Synthetic Financial For Fraud Detection Paysim dataset from Kaggle, we achieved notable performance metrics: 97 % precision, 97 % recall, 97 % F1 score, and 97 % accuracy. These impressive results indicate that the KAN model can effectively identify fraudulent transactions with a high degree of reliability. For banks, this means enhanced security measures that can significantly reduce financial losses due to fraud. By implementing such advanced detection systems, financial institutions can not only protect their assets but also build greater trust with their clients.*

Key words: *fraud detection, Kolmogorov-Arnold Network (KAN), Paysim, financial transactions, deep learning.*

Introduction

The expansion of mobile money payment systems in Africa and elsewhere is accompanied by an alarming increase in attacks against operators and their subscribers. For example, hackers recently wiped Orange Cameroon user accounts by exploiting vulnerabilities in the Orange Money app [1]. To counter these threats, machine learning (ML) and deep learning (DL) techniques have emerged as effective solutions. Classical models such as logical regression (LR) and SVM have demonstrated satisfactory performance on synthetic datasets such as Paysim3, while advanced approaches such as recurrent neural networks (RNNs) and Kolmogorov-Arnold networks (KANs) improve the accuracy and interpretability of predictions [2, 3].

However, these models face major challenges:

- Class imbalance: The rarity of fraudulent transactions biases predictions.
- Evolving tactics: Fraudsters constantly adapt their methods, requiring frequent model updates.
- Model opacity: Complex approaches such as MLPs lack transparency, hampering practitioners' trust.

In this context, we propose a model based on KANs, a novel architecture developed by MIT researchers in 2024. KANs outperform traditional MLPs by combining increased accuracy and improved interpretability. Tested on the Paysim dataset which is a synthetic dataset simulating realistic financial transactions, our model aims to reduce false positives while adapting to emerging fraudulent patterns.

Research methods

The architecture of the KAN is based on the construction of a deep neural network using the properties of Kolmogorov networks and Arnold algorithms. This method applies the insights of the theorem to build predictive models for complex, high-dimensional datasets. KAN uses the idea that any multivariate function can be decomposed into sums and compositions of univariate functions. This allows advanced ML techniques to be applied to solve complex and non-linear problems [3].

We implement the Kolmogorov-Arnold model using the well-known synthetic financial dataset of Edgar Lopez-Rojas generated by the Paysim simulator. We created the notebook code of our model using Kaggle. First, we installed pykan and implemented the KAN model by following the documentation of the Python API available from the source [3]. Next, to analyze the “Synthetic

Financial Datasets For Fraud Detection” dataset, we used Scikit-learn for data normalization. This was followed by data pre-processing, which included outlier detection, outlier management and data cleaning. After this analysis, the data was ready to be used for model training. We then built the model, performed prediction calculations, optimized and evaluated the model using the prepared data. Fig. 1 shows the general architecture of KAN. Creating our KAN architecture consists of determining the number of functions, links, nodes, and layers that we need to position in this general architecture in order to have a high-performance model. Then Fig. 2 shows the final architecture of our proposed KAN model.

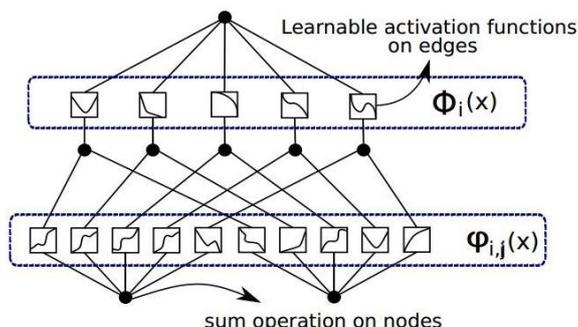


Fig. 1. General architecture of KAN

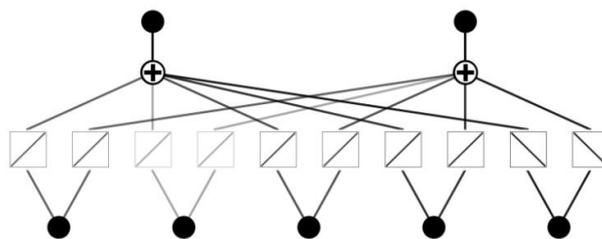


Fig. 2. Architecture of Proposed KAN model

The width parameter, set to 5 and 2, specifies the network's structure, indicating that the first layer contains 5 nodes and the second layer has 2 nodes. This configuration allows the model to effectively capture complex relationships within the data. The grid parameter, with a value of 10, defines the resolution of the input space, enhancing the model's ability to learn from local patterns in transaction data. This is particularly beneficial for identifying intricate details in the Paysim dataset. The k parameter, set to 3, represents a hyperparameter that influences the depth of function composition within the network, allowing it to model more complex interactions by utilizing up to three levels of composition. Finally, the device parameter specifies the computational device (such as CPU or GPU) on which the model operates, ensuring efficient computation when handling large datasets.

Results

In order to measure the performance of the model in classification problems, confusion matrices are created and for this purpose, true positive (TP), true negative (TN), false positive (FP) and finally false negative (FN) values are calculated. When evaluating models for fraud detection with the Paysim dataset [5], it is crucial to interpret metrics with caution. Accuracy alone can give a misleading picture of model performance, while F1-score provides a more balanced assessment by considering both precision and recall. Studies show that to optimize fraud detection, it is fundamental to pay close attention to recall and F1-score to ensure that fraudulent transactions are correctly identified without overly penalizing legitimate transactions [6, 7]. Table 1 shows the expressions of the performance metrics, and Table 2 shows the values we obtained after the prediction calculations.

Table 1

Expressions of performance metrics

Performance metric	Equation
accuracy	$accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$
precision	$precision = \frac{TP}{TP + FP}$
recall	$recall = \frac{TP}{TP + FN}$
F1-score	$F1score = \frac{2 \times precision \times recall}{precision + recall}$

Table 2

Performance of proposed KAN model

metric	accuracy	precision	recall	F1-score
percentage	97 %	97 %	97 %	97 %

Conclusion

To conclude, this study demonstrates the effectiveness of the Kolmogorov-Arnold Network (KAN) in detecting financial fraud in mobile payment systems. By utilizing the Synthetic Financial For Fraud Detection Paysim dataset, we achieved remarkable performance metrics, including a precision, recall, F1 score, and accuracy of 97 %.

These results highlight the model's potential to significantly enhance real-time fraud detection capabilities, thereby contributing to improved security measures for financial institutions and their customers. Future research should explore enhancements to this model and evaluate its effectiveness across different datasets and fraud types.

References

1. Sylvain A. Suite aux plaintes d'arnaques, l'opérateur Orange Cameroun renforce la sécurité des transactions Mobile Money. Text : electronic // Investir au Cameroun: website. – 2021. – URL: <https://www.investiraucameroun.com/finance/2001-15846-suite-aux-plaintes-darnaques-loperateur-orange-cameroun-renforce-la-securite-des-transactions-mobile-money>.
2. Shawni D., Samir B. Detection of Fraud Transactions Using Recurrent Neural Network during COVID-19 // Journal of Advanced Research in Medical Science & Technology. – 2020. – Vol. 7 (3). – P. 16–21.
3. Le T.T.H., Hwang Y., Kang H., Kim H. Robust Credit Card Fraud Detection Based on Efficient Kolmogorov-Arnold Network Models // IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – P. 157006–157020.
4. Alamri M., Ykhlef M. Hybrid Feature Engineering Based on Customer Spending Behavior for Credit Card Anomaly and Fraud Detection // Electronics. – 2024. – Vol. 13 (20). – P. 3978.
5. Danial J. et al. Sustainable fraud detection in green finance empowered with machine learning approach // Remittances Review. – 2024. – Vol. 9 (1). – P. 1897–1914.
6. Liu Z. et al. KAN: Kolmogorov-Arnold Networks. Text : electronic // arXiv: website. – 2024. – URL: <https://arxiv.org/abs/2404.19756> (accessed: 29.03.2025).
7. Edgar L.R. Synthetic Financial Datasets For Fraud Detection. Text : electronic // Kaggle: website. – 2017. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/ealaxi/paysim1> (accessed: 29.03.2025).

Исследование фотостойкости наночастиц диоксида кремния для применения в пассивных системах терморегулирования космических аппаратов

В.А. Горончко, С.П. Иваничко, С.А. Юрьев

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: vladimir.a.goronchko@tusur.ru

Study of photostability of silicon dioxide nanoparticles for application in passive thermal control systems of spacecraft

V.A. Goronchko, S.P. Ivanichko, S.A. Yuryev

Scientific Supervisor: Prof., Dr., M.M. Mikhailov

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

E-mail: vladimir.a.goronchko@tusur.ru

Abstract. *The resistance of the optical properties of silicon dioxide nanopowder ($n\text{SiO}_2$) to the action of solar spectrum quanta (SSQ) with an intensity 3 times exceeding the solar one, i.e. 3 equivalent solar irradiation (ESI), 1 ESI = 0.139 J/cm²·s were studied. The diffuse reflectance spectra were recorded in high vacuum before and after irradiation at the irradiation site (in situ). The $n\text{SiO}_2$ nanopowder has high reflectivity in the spectrum range from 200 nm to 2500 nm, and the corresponding value of the integral absorption coefficient of solar radiation is $\alpha_s = 0.145$. The $n\text{SiO}_2$ nanopowder can be used as a modifying additive in the development of new materials with increased resistance to radiation for space, accelerator and nuclear technology.*

Key words: *spacecraft, thermal control coatings, photoresistance, nanotechnology, silicon dioxide.*

Введение

В процессе разработки космических аппаратов (КА) одной из важных задач является обеспечение допустимых температурных режимов эксплуатации на весь срок их активного существования (до 15 лет и более). Данное требование достигается активными и пассивными системами терморегулирования КА. К пассивным системам относятся терморегулирующие покрытия (ТРП), которые наносят на внешние поверхности КА, состоящие из пигментов, определяющих эксплуатационные характеристики, и связующих, предназначенных для создания высокой адгезии как между частицами пигмента, так и между поверхностью КА и ТРП. Такие покрытия длительное время должны сохранять исходные оптические, электрические, механические и другие свойства под действием различных излучений космического пространства. С каждым годом требования к ТРП возрастают. Для увеличения длительности полетов КА необходима разработка новых покрытий, либо улучшение существующих. Одним из перспективных способов повышения фото- и радиационной стойкости связующих и пигментов может быть их модифицирование наночастицами [1]. Перед улучшением стойкости ТРП к действию излучений методом модифицирования компонентов наночастицами следует провести комплекс исследований оптических свойств, фото- и радиационной стойкости самих нанопорошков. Поэтому целью настоящей работы является исследование оптических свойств и фотостойкости порошка $n\text{SiO}_2$ для определения возможности его применения в качестве модифицирующей добавки ТРП.

Экспериментальная часть

В работе исследован нанопорошок $n\text{SiO}_2$ белого цвета (ООО «Плазмотерм», Россия) со средним размером частиц 20–25 нм и удельной поверхностью 100–120 м²/г. Нанопорошок получен сжиганием SiCl_4 в воздушной плазме. В химический состав нанопорошка входит SiO_2

(99,8 %) и Cl_2 (< 0,2 %). Для наночастиц nSiO_2 характерна высокая отражательная способность в солнечном диапазоне спектра, большая удельная поверхность и высокая химическая активность, что делает их перспективными для использования в качестве модифицирующей добавки с целью повышения радиационной стойкости.

Облучение образцов осуществляли в установке имитаторе условий космического пространства «Спектр» светом ксеноновой дуговой лампы мощностью 3 кВт, в вакууме $2 \cdot 10^{-6}$ торр при температуре 40–45 °С и времени облучения 4 ч [2]. Регистрацию спектров ρ_λ осуществляли в вакууме (in situ) до и после облучения КСС. Измерения осуществляли на месте облучения, поскольку при выносе облученных образцов в атмосферу возникает искажение полученных спектров из-за взаимодействия образованных фото дефектов с газами атмосферы.

Результаты

Спектры диффузного отражения (ρ_λ) до и после облучения нанопорошка nSiO_2 приведены на рисунке 1. Там же приведен спектр излучения Солнца [3]. В спектре до облучения край оптического поглощения не регистрируется из-за большой ширины запрещенной зоны nSiO_2 , составляющей 9 эВ (138 нм) [4]. Наибольшее отражение зарегистрировано в видимой области и достигает 91 % на длине волны 595 нм. С дальнейшим увеличением длины волны значение коэффициента отражения равномерно уменьшается до 59 % при $\lambda = 2500$ нм. В ближней ИК- области спектра зарегистрированы полосы поглощения при 1400, 1900, 2220 2470 нм, обусловленные сорбированными H_2O и ОН- группами на поверхности порошков [5].

Облучение КСС порошка nSiO_2 приводит к снижению отражения в УФ- и видимой области. На рис. 1 приведен спектр наведенного поглощения облучением КСС исследуемого нанопорошка, полученный вычитанием из спектра до облучения спектра после облучения.

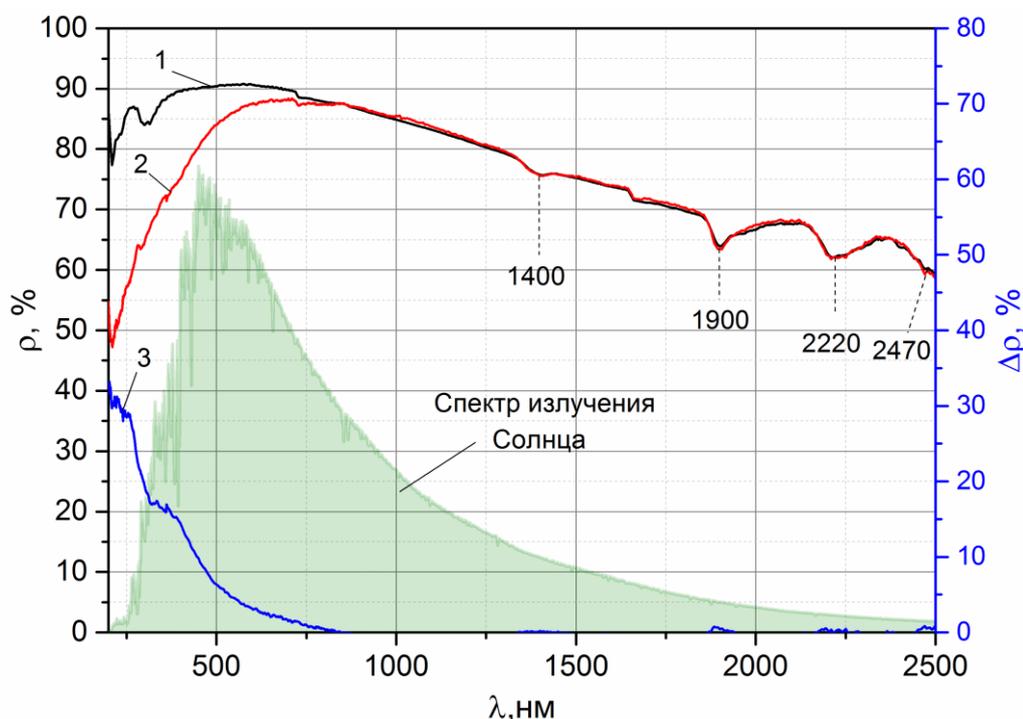


Рис. 1. Спектры диффузного отражения порошка nSiO_2 до (1) и после облучения КСС (2), спектр поглощения nSiO_2 после облучения КСС (3) и спектр излучения Солнца

Спектр поглощения имеет сложную форму и может определяться образованием фотодефектов [6]:

- поверхностными центрами, локализованными на атомах трехкоординированного кремния с неспаренным электроном E'_{s2} и E'_{s3} ($\equiv\text{Si}\cdot$);
- радикалами ($\equiv\text{Si-O-O}\cdot$) и ($\equiv\text{Si-O}\cdot$);
- дефектами на пероксидных мостиках ($\equiv\text{Si-O-O-Si}\equiv$);
- положительно заряженными ассиметричными кислородными вакансиями E'_γ ($\equiv\text{Si-V}_\text{O}^+-\text{Si}\equiv$);
- диоксисилановыми группами ($\equiv\text{Si-O})_2\text{Si(O}_2$);
- дефектам на немостиковых атомах кислорода ($\equiv\text{Si-O}$).

Интегральный коэффициент поглощения солнечного излучения (α_s) является одной из основных рабочих характеристик ТРП. Он показывает, какую долю энергии солнечного спектра поглощает материал. Расчет коэффициента α_s выполнен в соответствии с международными стандартами [3, 7], он составил 0,145. Такое значение коэффициента α_s соответствует стандартам ТРП класса «оптический солнечный отражатель» ($\alpha_s \leq 0,2$). Изменение интегрального коэффициента поглощения солнечного излучения ($\Delta\alpha_s$) после облучения составило 0,036.

Заключение

Выполненная работа позволяет перейти к разработке ТРП, модифицированных наночастицами nSiO_2 и исследованию влияния их концентрации на фото- и радиационную стойкость таких.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 24-72-10008, <https://rscf.ru/project/24-72-10008/>.

Список литературы

1. Mikhailov M.M., Yuryev S.A., Lapin A.N., Goronchko V.A. Reflective thermal control coating for spacecraft based on ZnO pigment and Li_2SiO_3 silicate modified by SiO_2 nanoparticles // *Ceramics International*. – 2023. – Vol. 49, I. 12. – P. 20817–20821.
2. Mikhailov M.M., Yuryev S.A., Goronchko V.A., Lapin A.N., Fedosov D.S. The effect of particles size of Gd_2O_3 on the radiation protection mechanisms of ZnO // *Materials Science and Engineering: B*. – 2024. – Vol. 308. – P. 117555.
3. ASTM E490-22 Standard Solar Constant and Zero Air Mass Solar Spectral Irradiance Tables, 2022.
4. Salh R. Defect related luminescence in silicon dioxide network: a review // *Crystalline Silicon-Properties and Uses*. – 2011. – Vol. 135. – P. 172.
5. Wilson R.H., Nadeau K.P., Jaworski F.B., Tromberg B.J., Durkin A.J. Review of short-wave infrared spectroscopy and imaging methods for biological tissue characterization // *Journal of Biomedical Optics*. – 2015. – Vol. 20. – P. 030901.
6. Юрина В.Ю. Оптические свойства и радиационная стойкость полых частиц оксида алюминия и диоксида кремния: дис. канд. физ.-мат. наук: 1.3.8: защищена 26.10. 22: утв. 01.07.22. – Томск, 2022. – 141 с.
7. ASTM E903-20 Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres, 2020.

Решение задачи сегментации фотографических изображений новорождённых с помощью нейронной сети

М.Е. Исаева

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Е.Ю. Костюченко
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: d13.h@mail.ru

Solving the problem of newborn photographic image segmentation using a neural network

M.E. Isaeva

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. E.Y. Kostyuchenko
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: d13.h@mail.ru

***Abstract.** In the modern world, the task of recognizing human skin in photographs is often relevant in various fields. This article is devoted to the results of solving the problem of segmenting photographs of newborns using the U-Net neural network. The results obtained can be useful in the field of medical work and research.*

***Key words:** photo segmentation, U-Net neural network, human skin, background, newborn, mask.*

Введение

Распознавание человека или определённого объекта на изображении – классическая задача компьютерного зрения. Одной из сфер, где результаты решения этой задачи активно внедряются и применяются, является медицина. С развитием технологий и возможностей, задачи сегментации изображений (разделения изображения на отдельные группы пикселей) стали приобретать прикладной характер. Одной из таких прикладных задач является задача сегментации фотографий новорождённых.

Целью работы является решение задачи сегментации фотографических изображений новорождённых (разделение пикселей изображения на два класса: «фон» и «кожа новорождённого»).

Экспериментальная часть

Для работы была использована нейросеть U-Net. U-Net – свёрточная нейронная сеть, предназначенная для быстрой и точной сегментации изображений. В 2015 году в рамках International Symposium on Biomedical Imaging U-Net завоевала несколько наград, в том числе лучше всех справилась с сегментацией рентгеновских изображений [1].

U-Net считается одной из стандартных нейронных сетей для задач сегментации изображений. Она умеет не только определять классы на визуальном материале, но и сегментировать области, т. е. создавать маску, которая будет визуально разделять изображение на несколько классов. Архитектура U-net достигает выдающейся производительности и точности в самых разных приложениях биомедицинской сегментации.

Сеть обучается методом стохастического градиентного спуска на основе входных изображений и соответствующих им масок. Высокая точность достигается при условии надлежащего обучения, подходящего набора данных и правильного выбора времени обучения.

Набор данных. В качестве набора данных были использованы фотографические изображения новорождённых, полученные в результате официального сотрудничества с родильными домами. На момент написания статьи в наборе данных содержится 1303 изображения (ежедневно пополняется).

Для работы с нейронной сетью требовалось получить маски обучающих изображений. На основе статей [2, 3] была предпринята попытка автоматизированного получения масок изображений, однако из-за неоднородного фона (наличие складок; теней; засветов; ярких цветных объектов розовых, красных и желтых цветов) описанные в статьях методы не подошли.

В результате разметка изображений происходила вручную с помощью ресурса CVAT («Computer Vision Annotation Tool») [4]. Данный инструмент позволяет создавать маски для изображений и выгружать их для дальнейшей работы.

Результаты

График обучения нейронной сети представлен на рис. 1. Результат работы нейронной сети после обучения продемонстрирован на рис. 2. На всех изображениях с новорождёнными присутствуют закрашенные бирюзовые области: ручное редактирование. Нейросетью закрашенная область распознана как кожа ребёнка и выделена (что всегда можно увидеть, опираясь на изображение-маску по центру).

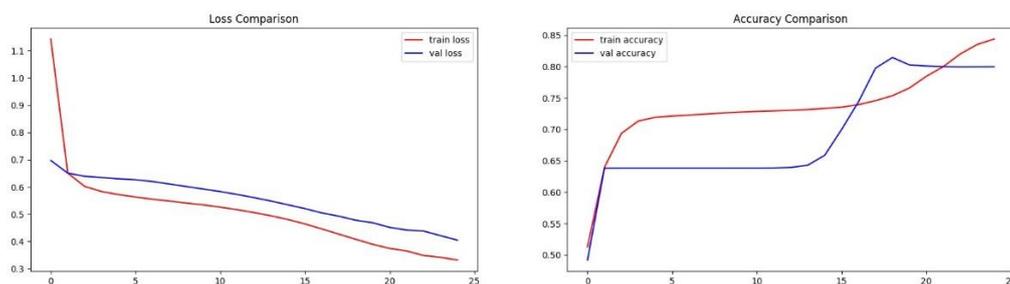


Рис. 1. График обучения нейронной сети

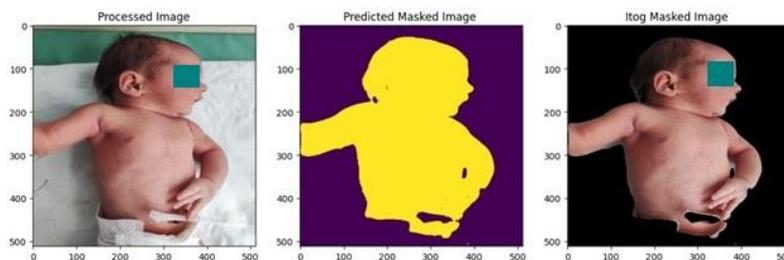


Рис. 2. Результат работы нейронной сети

Стоит отметить, что нейронная сеть справляется с изображениями с разным цветовым балансом и различными позами новорождённых (рис. 3, 4). С небольшим размытием (конечности в движении) нейронная сеть также справляется (рис. 4, два нижних изображения).

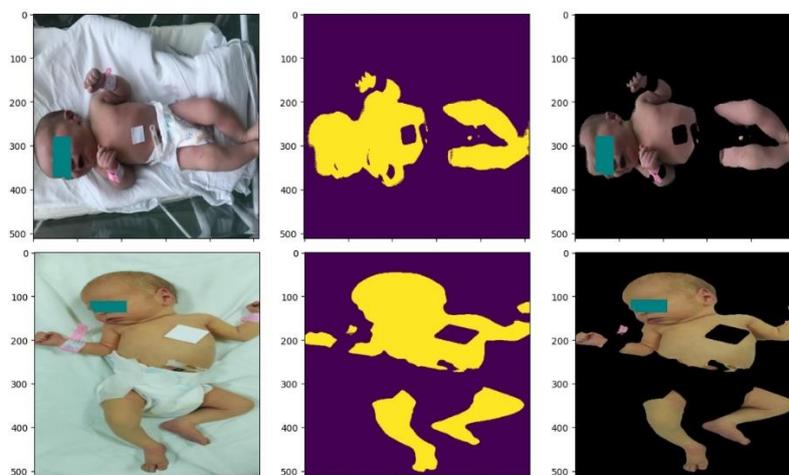


Рис. 3. Результат работы нейронной сети (разный цветовой баланс)



Рис. 4. Результат работы нейронной сети (различные позы новорождённых)

Заключение

Была решена задача сегментации фотографических изображений новорождённых. Полученный результат может быть использован в дальнейших исследованиях. Стоит отметить, что некоторые полученные в качестве результата изображения могут требовать дальнейшей обработки для исключения сегментов, не являющихся кожей новорожденного (рис. 2, розовые включения). Проблемы вызывают яркие цветные объекты розового, красного, желтого, бежевого и, в некоторых случаях, жёлто-зелёного цвета.

Список литературы

1. Our U-net wins two Challenges at ISBI 2015 // Computer Vision Group: сайт. – 2015. – URL: <https://lmb.informatik.uni-freiburg.de/people/ronneber/isbi2015/>.
2. Воротнев Д.В., Голованов Р.В. Разработка комплексного бинарного классификатора на основе гом-кривых для сегментации кожи на изображении // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие». – Санкт-Петербург: ГНИИ «Нацразвитие», 2018. – С. 88–95.
3. Рысюков М.И., Сорокин К.Н. Исследование методов сегментации цветных изображений // Сборник материалов научно-практической конференции «Современные тенденции инженерного образования». – Санкт-Петербург: ВАС, 2022. – С. 247–251.
4. Cvat.ai // Leading Image & Video Data Annotation Platform // CVAT: сайт. – 2025. – URL: <https://www.cvat.ai/>.

УДК 004.413.5

Обеспечение безопасной загрузки встраиваемого программного обеспечения на изолированных устройствахЕ.О. Калинин, Д.С. Беляков, Д.С. Брагин

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: keo@csp.tusur.ru

Ensuring secure loading of embedded software on isolated devicesE.O. Kalinin, D.S. Belyakov, D.S. Bragin

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. A.A. Konev

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

E-mail: keo@csp.tusur.ru

Abstract. Secure firmware updates are essential for protecting embedded devices. However, isolated devices face verification challenges when digital certificates expire or get revoked, making traditional certificate-based methods ineffective. This paper explores alternative verification mechanisms for secure firmware loading in such scenarios.

Key words: Internet of Things, Firmware, Trust.

Введение

Безопасная загрузка прошивок, являются важным механизмом обеспечения целостности и защиты системы от несанкционированных изменений. Однако в случае с изолированными устройствами, процесс верификации прошивки может столкнуться с серьезными проблемами, если используемые сертификаты становятся недействительными. Это может произойти из-за истечения срока действия сертификата, его отзыва или отсутствия возможности обновить цепочку доверия. Перевыпуск устройств также становится невозможным если производителя устройств больше не существует (например, из-за банкротства) [1]. В таких условиях традиционные методы проверки подлинности прошивки становятся неприменимыми, угрожая безопасности и эксплуатации устройства [2].

В связи с этим возникает необходимость в разработке альтернативных способов верификации, которые позволят обеспечивать безопасную загрузку прошивок даже в условиях недействительных сертификатов. В качестве эталонной модели рассматривается схема безопасной загрузки прошивки, представленная в спецификации GlobalPlatform Open Firmware Loader [3–4]. В данной работе рассмотрены преимущества и недостатки данной схемы, а также предложено возможное решение выявленных проблем.

Экспериментальная часть

Согласно спецификации GlobalPlatform Open Firmware Loader, схема взаимодействия при безопасной загрузке прошивки должна содержать следующих участников: устройство (OFL), программатор (PRG), изготовитель устройств (FAC), разработчик прошивки (IDS), центр сертификации (CI). В процессе безопасной инсталляции прошивки используется цепочка сертификатов, представленная на рис. 1.

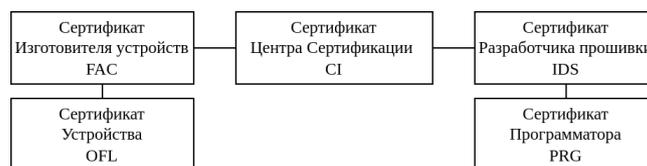


Рис. 1. Цепочка сертификатов

В табл. 1 представлено распределение криптографических объектов при начальной загрузке прошивки для каждого активного участника взаимодействия.

Таблица 1

Распределение криптографических объектов при начальной загрузке прошивки

	Устройство (OFL)	Программатор (PRG)	Разработчик прошивки (IDS)	Изготовитель (FAC)
Сертификаты	CERT.OFL, CERT.FAC	CERT.PRG, CERT.IDS	CERT.IDS	CERT.FAC
Публичные ключи	PK.OFL, PK.CI	PK.PRG, PK.CI	PK.IDS, PK.CI	PK.FAC, PK.CI
Закрытые ключи	SK.OFL	SK.PRG	SK.IDS	SK.FAC

Согласно спецификации, GlobalPlatform Open Firmware Loader, в ходе первичного подключения устройство передает программатору уникальный идентификатор партии (PART_NUMBER), на основании которого программатор определяет возможность дальнейшего обмена данными. Для защиты от атак повтора (replay-атак) в устройстве используется специализированный счетчик, значение которого хранится в сертификате ATK.OFL. Предложенная схема из спецификации имеет ряд недостатков. При невозможности выполнения проверки цепочки сертификатов загрузка новой прошивки становится недоступной, что приводит к уязвимости устройства из-за отсутствия своевременного обновления защитных механизмов.

Результаты

На основании выявленных ограничений оригинальной схемы загрузки прошивки, на рис. 2 и 3 представлена модифицированная схема альтернативной загрузки, которая обеспечивает возможность многократного использования устройства. Ограничением альтернативной схемы загрузки является наличие доверенного канала взаимодействия между программатором и изготовителем (или иной доверенной стороной, уполномоченной выполнять функции изготовителя после завершения производственного цикла).

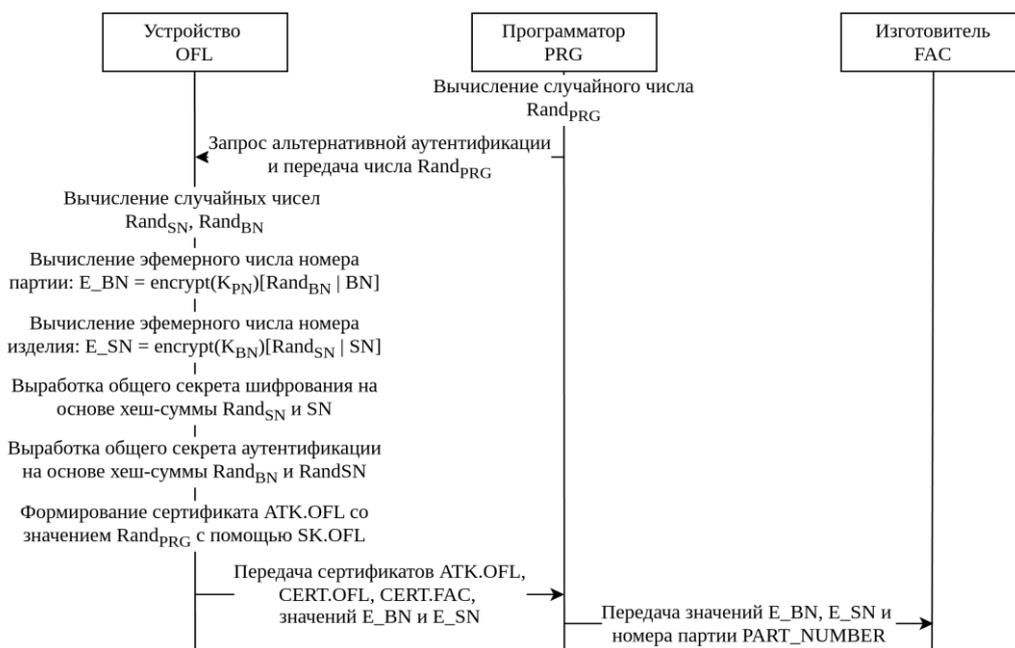


Рис. 2. Начало схемы последовательности при альтернативной загрузке прошивки

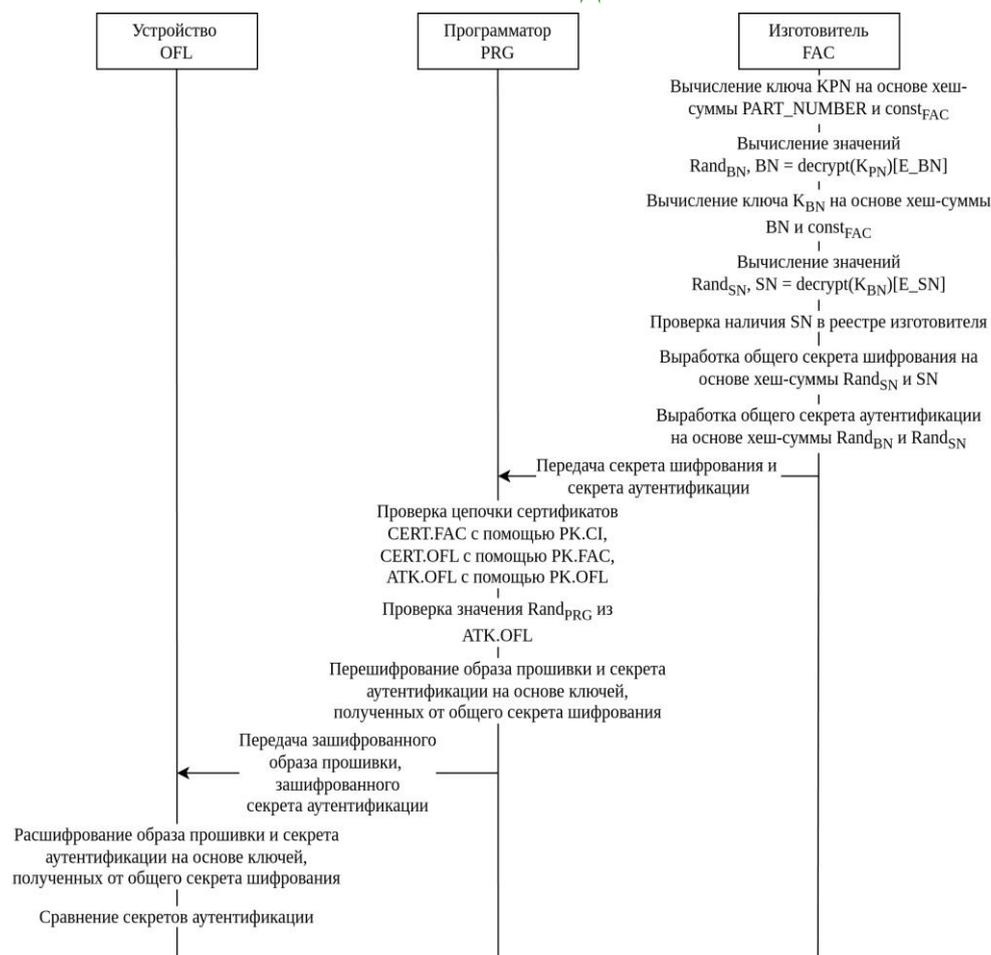


Рис. 3. Продолжение схемы последовательности при альтернативной загрузке прошивки

Заключение

В результате проведенного исследования разработана альтернативная схема загрузки прошивки, обеспечивающая возможность повторного использования устройства для обновления программного обеспечения.

Список литературы

1. Беляков Д.С., Калинин Е.О., Конев А.А., Шелупанов А.А., Мицель А.А. Модели жизненного цикла и угрозы безопасности микросхемы во время ее разработки и эксплуатации // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2023. – Т. 26, № 1. – С. 76–81.
2. Конев А.А. Модель угроз безопасности защищенного микроконтроллера и обрабатываемой им информации // Доклады ТУСУР. – 2022. – Т. 25, № 4. – С. 80–87.
3. Open Firmware Loader for Tamper Resistant Secure Hardware v2.0 (formerly GPC_FST_134) | GPC_SPE_134 // Global Platform: сайт. – 2025. – URL: <https://globalplatform.org/specs-library/open-firmware-loader-for-tamper-resistant-element/>.
4. Open Firmware Loader (OFL) Ecosystem // Trusted Connectivity Alliance: сайт. – 2025. – URL: <https://trustedconnectivityalliance.org/technology-library-sim-specifications/>.

Влияние электронно-лучевой обработки на шероховатость поверхности керамики на основе диоксида циркония, армированного оксидом алюминия

Г.А. Касьянов, А.А. Лыман, А.Е. Петров

Научный руководитель: профессор, А.С. Климов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: gleb.kas.1990@mail.ru

Effect of electron-beam treatment on surface roughness of aluminum oxide-reinforced zirconium dioxide ceramics

G.A. Kasyanov, A.A. Lyman, A.E. Petrov

Scientific supervisor: Prof., A.S. Klimov

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

E-mail: gleb.kas.1990@mail.ru

***Abstract.** Modification of surface morphology of ceramics based on zirconium dioxide reinforced with aluminum oxide during electron beam treatment has been carried out. The results show that at temperatures above 1600 °C a significant increase in the grain and pore sizes begins due to the phenomenon of diffusion mass transfer, at which the components of the solid body acquire mobility. The processing regime was determined, at which the roughness was observed to have the optimal value to obtain a high level of biocompatibility (1,027 μm).*

***Key words:** electron beam, treatment, roughness, zirconium oxide.*

Введение

Керамические материалы на основе диоксида циркония, стабилизированного оксидами иттрия, церия и др., обладают высокой прочностью и вязкостью разрушения благодаря эффекту трансформационного упрочнения, а также низким коэффициентом трения, химической стойкостью и биоинертностью, а также высокой биосовместимостью [1].

Отсутствие реакций с живым организмом позволяет применять биоинертную керамику на основе ZrO_2 в качестве замены пар трения тазобедренных суставов и цельнокерамических конструкций в ортопедии. Для этих целей в основном применяется диоксид циркония, стабилизированный 3 мол. % Y_2O_3 (3Y-TZP) [2]. На уровень приживаемости костных тканей напрямую влияет шероховатость поверхности. Из литературы известно, что ее оптимальный диапазон, для наилучшей биосовместимости, лежит в пределах от 1 до 2 мкм [3].

В настоящее время для обработки поверхности диэлектрических материалов применяют следующие методы: механический, химический, нанесение покрытий, а также электронно-лучевая модификация, благодаря которым, изменяя морфологию поверхности можно добиваться высокого уровня приживаемости имплантов.

Использование электронного пучка, распространяющегося в форвакуумной области давлений [4], позволяет непосредственно обрабатывать керамику, локально воздействуя на ее поверхность при точном контроле величины этого воздействия.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния электронно-лучевой обработки непрерывным пучком на шероховатость облученной поверхности спеченной керамики.

Экспериментальная часть

Схематичное изображение экспериментальной установки представлено на рис. 1.

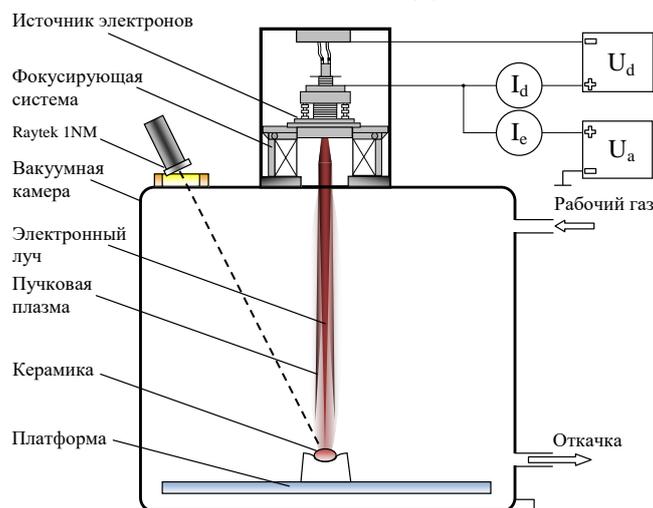


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Эксперимент по обработке поверхности керамических образцов состоял в их облучении потоком ускоренных электронов в форвакуумной области давлений, при плавном увеличении мощности пучка от 280 до 650 Вт. Вследствие чего возникало тепловое воздействие на структуру поверхности материала и осуществлялся нагрев образцов до различных максимальных температур (T_{max}) 1400, 1500, 1600, 1700 и 1800 °С.

При температурах более 1800 °С значительно повышается вероятность погасания разряда в электронном источнике из-за скачков давления в камере, вызванных интенсивным газовыделением от нагретого образца, что препятствует дальнейшей обработке.

При достижении максимальной температуры мощность пучка поддерживалась на уровне, позволяющем стабилизировать эту температуру в течение 5 минут.

Далее образцы остужались за счет плавного уменьшения мощности электронного пучка до достижения температуры 500 °С, а далее в вакууме до комнатной температуры. Скорость нагрева в среднем составляла 31 °С/мин, а скорость остывания 33 °С/мин.

После обработки облученная поверхность образцов исследовалась на сканирующем электронном микроскопе Hitachi TM-1000 при увеличении 1000 крат. Для исследования шероховатости использовался оптический профилометр SuperView W1.

Для эксперимента было взято 6 спеченных и отполированных образцов из керамики на основе диоксида циркония, армированной оксидом алюминия марки ATZ-3YSB-E. Образцы имели форму бруска: длина – 10 мм, ширина и высота – 5 мм.

Результаты

В табл. 1 представлены снимки обработанных керамических поверхностей.

Таблица 1

Снимки керамических поверхностей со сканирующего электронного микроскопа после обработки

Максимальная температура обработки, °С				
1400	1500	1600	1700	1800

По полученным изображениям видно, что электронно-лучевая обработка приводит к увеличению среднего размера зерен, и пор, находящиеся между кристаллитами. Данные изменения происходят вследствие вторичной рекристаллизации поверхности керамики, которая имеет место при температурах более 1200 °С.

На рис. 2 представлена температурная зависимость шероховатости R_a .

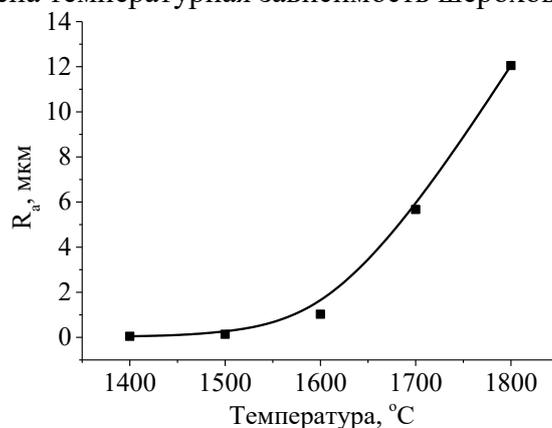


Рис. 2. Температурная зависимость R_a

Из рис. 2 видно, что существенный рост размеров зерен начинается с температуры 1600 °С, которая обусловлена переходом температурной границы – температуры Таммана, при достижении которой компоненты твердого тела приобретают подвижность. Для диоксида циркония, армированного оксидом алюминия, она лежит в диапазоне от 1500 до 1700 °С [5].

Заключение

Электронно-лучевая обработка образцов ATZ-3YSB-E керамики в форвакуумной области давлений приводит к изменению шероховатости ее поверхности. Интенсивный рост средней шероховатости наблюдается при достижении температуры поверхности более 1600 °С, что обусловлено ростом размеров зерен керамики. Данный вид образцов также можно использовать для получения материала для имплантов, так как была получена шероховатость (R_a), входящая в диапазон оптимальных, на уровне 1–2 мкм (1,027 мкм) для достижения приемлемого уровня биосовместимости.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках конкурса FEWM-2024-0006.

Список литературы

1. Nikkerdar N., Golshah A., Mobarakeh M.S. Recent progress in application of zirconium oxide in dentistry // Journal of Medicinal and Pharmaceutical Chemistry Research. – 2024. – Vol. 6, № 8. – P. 1042–1071.
2. Cinquini C., Alfonsi F., Marchio V., Gallo F., Zingari F., Bolzoni A.R., Romeggio S., Barone A. The use of zirconia for implant-supported fixed complete dental prostheses: A narrative review // Dentistry Journal. – 2023. – Vol. 11, № 6. – P. 14.
3. Tchinda A., Chézeau L., Pierson G., Kouitat-Njiwa R., Rihn B.H., Bravetti P. Biocompatibility of ZrO₂ vs. Y-TZP Alloys: Influence of Their Composition and Surface Topography // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 13. – P. 19.
4. Zenin A.A., Bakeev I.Y., Klimov A.S. Forevacuum-pressure plasma-cathode high-power continuous electron beam source // Review of Scientific Instruments. – 2020. – Vol. 91. – Art. № 033303.
5. Vásquez D., Maya J.C., Manrique R., Ceballos C., Chejne F. Development of a low-temperature water heating system based on the combustion of CH₄ in porous-media // Energy. – 2020. – Vol. 209. – Art. № 118461.

Обзор методов искусственного интеллекта в заводнении нефтяного месторождения

А.С. Коробко, Т.Т. Газизов

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: Ojokend0@gmail.com

Review of artificial intelligence methods in oil field exploration

A.S. Korobko, T.T. Gazizov

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

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

E-mail: Ojokend0@gmail.com

Abstract. *The article considers modern methods of artificial intelligence used to optimize the process of waterflooding of oil fields. The possibilities of machine learning, neural networks and optimization algorithms in predicting reservoir processes and water injection control are described. Examples of successful implementation of AI in the oil and gas industry are given, and the existing limitations and prospects of the technology are discussed. The conclusions confirm that artificial intelligence is a promising tool for improving the efficiency of oil production.*

Key words: *Artificial intelligence methods, waterflooding, oil fields, machine learning, production optimization.*

Введение

Искусственный интеллект (ИИ) представляет собой инновационное решение, позволяющие повысить эффективность нефтедобывающих месторождений. Многие добывающие компании мира при помощи машинного обучения, методов поиска и анализа данных, компьютерного зрения и других методов искусственного интеллекта сообщают об увеличении производительности предприятия (на 20–30 %), снижении затрат на обслуживание и ремонт (на 15–25 %), а также уменьшения простоя оборудования (на 20–40 %) [1].

Одним из наиболее применяемых подходов к увеличению добычи является заводнение нефтяных пластов. Этот метод помогает повысить коэффициент извлечения нефти и продлить эксплуатацию месторождений. Его использование позволяет более рационально расходовать ресурсы, снижать затраты и повышать эффективность добычи, что особенно актуально на поздних этапах разработки месторождений. Использование ИИ в процессе заводнения является важной задачей, так как позволяет оптимизировать работу скважин, которая основывается на обработке большого объема данных, информации о пластовых условиях, и выборе наилучших параметров режимов закачки в реальном времени [2].

Однако, область применения ИИ в нефтедобывающей отрасли огромна. Многие задачи, связанные с обработкой текстовых данных, графиков, формул и таблиц уже давно является обыденной задачей для ИИ. Как прогнозируют эксперты, уже к 2030 году искусственный интеллект должен быть способен вести сложный и высококачественный анализ месторождений и предлагать рекомендации по его эффективной разработке.

Целью данной статьи является обзор методов ИИ, имеющих потенциал для использования в задачах заводнения нефтяных месторождений.

Экспериментальная часть

Методы искусственного интеллекта в заводнении. Машинное обучение и анализ данных. Машинное обучение (machine learning, ML) представляет собой совокупность методов для оптимизации сложных бизнес-процессов предприятия, составления предиктивной аналитики

и поиска оптимальных решений. Данный подход основан на сборе и анализе больших данных, которые могут представлять собой показатели датчиков, видеоаналитику, внутренние технические сервисы, технический режим работы скважин т.д. Например, ML позволяет оценивать эффективность закачки воды в различные пласты скважин или определять направления корректировки закачки воды.

В большинстве случаев, для использования машинного обучения требуются колоссальные объемы информации, которые могут не быть для решения большинства задач. А для сбора такого объема информации могут потребоваться годы работы, и это является значительным ограничением данной технологии. В таких случаях лучше рассмотреть иной подход оптимизации процесса.

Нейронные сети. В случаях, когда уже собран набор больших данных, позволяющий проводить исследования и анализ, возможна разработка нейронной сети. Искусственная нейронная сеть (ИНС) – математическая модель биологической нейронной сети, построенная по принципу организации нейронов, соединенных между собой синапсами. Модель основывается на процессах, протекающих в человеческом мозге. Такие сети позволяют обрабатывать большие объемы информации, выявлять закономерности и скрытые от человеческого глаза взаимосвязи в независимо происходящих от друг друга процессах.

Современные ведущие отраслевые компании во всем мире стараются использовать нейронные сети для оптимизации большинства бизнес-процессов предприятия. Такие Российские компании, как «Газпром нефть», «Лукойл», «Роснефть» и «Татнефть» используют ИНС для анализа истории функционирования скважин месторождения, сейсморазведки, определения перспективных нефтегазовых залежей, что в конечном результате позволяет достичь сокращения «ручной» работы сотрудников предприятий на десятки часов.

Оптимизационные методы. Оптимизационные методы является проверенным решением для задач нахождения оптимального решения и моделирования различных сценариев бизнес-процессов. Такие методы искусственного интеллекта, как генетические алгоритмы (ГА), эволюционные стратегии (ЭС) или метод оптимизации роя части позволяют улучшить процесс разработки нефтегазового месторождения и подобрать оптимальные значения для работы скважин.

Результаты

Применением классического искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли как в России, так и во всем мире исследователи и инженеры занимаются уже более 10 лет. Согласно аналитическому отчету Mordor Intelligence, мировой рынок ИИ в нефтегазе оценивается в \$3 млрд в 2024 году и, по прогнозам, эта цифра приблизится к отметке в \$5 млрд к 2029 году, что демонстрирует среднегодовой темп роста более 11 %. На данный момент, наибольшую часть внедрения искусственного интеллекта в нефтегазовый сектор занимает Северная Америка. Быстрорастущими в данном направлении считаются Азиатско-Тихоокеанский регион. ИИ активно заменяет традиционные методы поиска, разведки и разработки месторождений, что повысило точность и скорость анализа больших данных, а также снизило вероятность появления ошибок в расчётах [3].

Среди недавних исследований хорошим примером является использование нейронных сетей в процессе заводнения, продемонстрированные в статье «Алгоритмы оперативного управления заводнением с применением физико-информированных нейронных сетей» авторов В.Е. Вершинина и Р.Ю. Пономарева [4]. В работе подробно описаны возможности использования нейросетевого моделирования и машинного обучения для оптимизации заводнения и управления пластовым давлением. Исследователи используют процесс самообучения рекуррентных нейронных сетей LSTM (Long Short Term Memory) и GRU (Gates Recurrent Unit) на экспериментальных и реальных данных. В своем заключении приводят, что

использование такого подхода позволяет оптимально рассчитать режимы работы нагнетательных скважин и дополнительно увеличить добычу нефти на месторождении.

Однако, как и в любой другой технологии, у искусственного интеллекта есть свои ограничения. К основным ограничивающим факторам относят те области нефтегазовой отрасли, в которых невозможно интегрировать ИИ-решения. Для таких масштабных изменений необходимо большое количество времени и денег. Ограничением также является дефицит квалифицированного персонала для работы с ИИ. Кроме того, проблемой может стать сложное тестирование технологии и высокие требования к безопасности.

Общая тенденция показывает, что новые технологии продолжает активно внедряться ведущими нефтегазовыми компаниями, и широкое распространение ИИ является лишь вопросом времени [5, 6].

Заключение

Искусственный интеллект играет ключевую роль в повышении эффективности процессов заводнения нефтяных месторождений. Использование методов машинного обучения, нейронных сетей и оптимизационных алгоритмов позволяет анализировать большие объемы данных, прогнозировать пластовые процессы и оптимизировать параметры закачки воды. Благодаря этим технологиям компании могут значительно повысить коэффициент извлечения нефти, сократить эксплуатационные затраты и минимизировать негативные последствия неэффективного заводнения.

Несмотря на существующие барьеры, такие как необходимость больших объемов данных, высокая стоимость внедрения и нехватка квалифицированных специалистов, тенденции показывают, что развитие ИИ в нефтегазовой отрасли продолжится. По мере совершенствования алгоритмов и доступности вычислительных мощностей возможности ИИ будут расширяться, обеспечивая более точные прогнозы, автоматизированное управление и повышение экономической эффективности разработки месторождений.

Список литературы

1. Нейросеть в нефтегазовой промышленности: как искусственный интеллект помогает развивать отрасль // Производитель.рф: сайт. – 2024. – URL: <https://xn--b1aedfedwrdf15abk.xn--p1ai/article/neyroset-v-neftegazovoy-promyshlennosti-kak-iskusstvennyy-intellekt-pomogaet-razvivat> (дата обращения 03.02.2025).
2. Овчинников К., Гилев Д. Искусственный интеллект в нефтегазовой индустрии Китая. – Текст: электронный // Журнал «Нефтегазовая Вертикаль». – 2024. – URL: <https://ngv.ru/articles/iskusstvennyy-intellekt-v-neftegazovoy-industrii-kitaya/> (дата обращения 04.02.2025).
3. Крысанов Д. ИИ в нефтяной индустрии: как технологии меняют геологоразведку и добычу. – Текст: электронный // Сетевое издание «РБК». – 2025. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/678f9f5f9a79477d9725513e> (дата обращения 04.03.2025).
4. Вершинин В.Е., Пономарев Р.Ю., Зиазев Р.Р., Лещенко А.А., Мигманов Р.Р., Ивлев М.И. Алгоритмы оперативного управления заводнением с применением физико-информированных нейронных сетей. – Текст: электронный // Деловой журнал «Neftegaz.RU». – 2024. – № 6. – URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/tsifrovizatsiya/838247-algoritmy-operativnogo-upravleniya-zavodneniem-s-primeneniem-fiziko-informirovannykh-neyronnykh-sete/> (дата обращения 04.02.2025).
5. Крысанов Д. ИИ в нефтяной индустрии: как технологии меняют геологоразведку и добычу. – Текст: электронный // Сетевое издание «РБК». – 2025. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/678f9f5f9a79477d9725513e> (дата обращения 04.02.2025).
6. Марданов Р. Как искусственный интеллект влияет на нефтегазовую отрасль. – Текст: электронный // Сетевое издание «РБК». – 2025. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/635bc40a9a79478116d84952> (дата обращения 01.03.2025).

Методы и средства автоматизация моделирования угроз и атак

П.И. Кузнецова, Д.М. Мусин

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: polinakuznets@yandex.ru

Methods and tools automation of threat and attack modeling

P.I. Kuznetsova, D.M. Musin

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. A.A. Konev

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

Email: polinakuznets@yandex.ru

Abstract. *This article presents an analysis of existing methods and tools for automating threat and attack modeling, as applied in the field of information security. Threat and attack modeling methodologies are examined. A comparative analysis of popular automation tools is conducted, with a focus on their functionalities and limitations. Based on the analysis, directions for developing a new threat and attack modeling automation tool are proposed.*

Key words: *automation, attack, threat, modeling, modeling method.*

Введение

В условиях непрерывного роста киберугроз, эффективное выявление и анализ потенциальных уязвимостей в информационных системах является критически важной задачей. На рынке представлено множество инструментов для автоматизации этого процесса, однако большинство из них фокусируются на визуализации диаграмм, таких как DFD и IDEF, и не обладают достаточной функциональностью для полноценного анализа угроз. Для будущей разработки средства моделирования угроз и атак необходимо провести тщательный анализ уже существующих средств для выявления наиболее эффективных функций.

Экспериментальная часть

Для последующей разработки средства автоматизации моделирования угроз и атак, в ходе анализа необходимо учесть следующие аспекты: обеспечение поддержки различных нотаций (UML, BPMN, Archimate) с возможностью импорта и экспорта; выбор различных методологий для моделирования, отталкиваясь от особенностей конкретной системы; гибкий анализ рисков, учитывающий технические уязвимости, вероятность атаки, потенциальный ущерб, позволяющий пользователю реализовывать различные сценарии атак и проводить их оценку; интерактивное моделирование, которое позволит пользователю динамически изменять и перенастраивать параметры системы и наблюдать за изменением рисков и возможных уязвимостях; генерация отчетов с детальной информацией о угрозах, уязвимостях, рисках и контрмерах; в дальнейшем возможность реализовать интерактивные графы для более подробной визуализации системы и её уязвимости.

В данной работе рассматривались такие методологии, как STRIDE [1], PASTA, Attack Tree [2]. Также были рассмотрены уже существующие средства автоматизации: IgiusRisk, ThreadModeler, Microsoft Modeler Tool и язык программирования MAL [3], с помощью которого можно получить более детальное и структурированное описание атак.

Результаты

Проведенный анализ позволил комплексно рассмотреть средства моделирования и методологии и выявить как сильные, так и слабые стороны каждого метода. У средств

моделирования были рассмотрены такие параметры, как архитектура, моделирование, идентификация угроз, анализ рисков, возможность генерации отчетов (табл. 1). Для анализа методологий были определены следующие параметры для рассмотрения: описание, преимущества, недостатки и преимущества (табл. 2).

Таблица 1

Сравнительный анализ средств автоматизации моделирования угроз и атак

Модуль	IriusRisk	ThreatModeler	Microsoft TMT	MAL
Архитектура	Облачная, гибкая, иерархия	Десктоп, стандартные нотации	Десктоп, .NET-фокус	Язык, нет GUI
Моделирование	Визуал, импорт/экспорт, гибко	Визуал, ограничено, просто	Визуал, .NET-компоненты	Требует внешнего инструмента
Идентификация угроз	Авто/ручной, STRIDE, PASTA	Ручной, выбор методологии	Ручной, STRIDE-фокус	Формальное описание атак
Анализ Рисков	Авто, ML, отчёты, визуал	Ручной/полуавтомат, отчёты	Ручной/полуавтомат, .NET	Требует внешнего инструмента
Отчёты	Форматы: PDF, CSV, JSON, гибкость	Форматы ограничены, PDF	Форматы ограничены, PDF	Зависит от интеграции

Таблица 2

Сравнительный анализ методов автоматизации моделирования угроз и атак

Метод	Описание	Принцип работы	Преимущества	Недостатки
STRIDE	Фокусируется на шести категориях угроз: подделка, подмена, отказ от авторства, раскрытие информации, отказ в обслуживании, повышение привилегий	Анализ компонентов на подверженность каждой из шести категорий угроз	Простота понимания, скорость анализа, охват ключевых угроз	Не охватывает все типы угроз, не всегда подходит для сложных систем
PASTA	Анализ, основанный на подходе “от цели к средству”, оценка активов, угроз и уязвимостей	Системный анализ, включающий определение активов, идентификацию угроз, оценку уязвимостей и моделирование атак	Системный подход, выявление скрытых уязвимостей, подходит для сложных систем	Сложность реализации, требует глубоких знаний и большого количества времени
Деревья атак	Визуальное представление путей атаки, показывающих действия злоумышленника	Построение дерева, где узлы - этапы атаки, ветви - варианты действий	Наглядное представление атак, помогает понять последовательность действий, подходит для обучения	Может быть сложным для больших систем, требует определенных навыков построения диаграмм

Заключение

В результате, для дальнейшей разработки будет использоваться визуальный редактор для моделирования архитектуры системы (похожий на ThreatModeler), также будут реализованы следующие функции: автоматизированная идентификация угроз; гибкий модуль анализа рисков, позволяющий использовать различные методики расчета и настройки параметров; возможность выбора различных методологий, например STRIDE для быстрого анализа системы или PASTA для более подробного анализа; генерация отчетов,

поддерживающих различные форматы; формализация описания атак с помощью языка программирования MAL.

Список литературы

1. Рытов М.Ю., Калашников Р.Ю. Применение методологии stride для определения актуальных угроз безопасности программно-определяемых сетей // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2019. – № 3(5). – С. 19–24.
2. Xiong W., Legrand E., Åberg O. et al. Cyber security threat modeling based on the MITRE Enterprise ATT&CK Matrix// Softw. Syst. Model. – 2022. – Vol. 21. – P. 157–177.
3. Katsikeas S., Hacks S., Johnson P., Ekstedt M., Lagerström R., Jacobsson J., Wällstedt M., Eliasson P. An attack simulation language for the IT domain. – Текст: электронный – 2020. – URL: https://gramsec.uni.lu/preproceedings/GraMSec_2020_paper_7.pdf.

УДК 004.4

Концепция системы поддержки принятия решений для управления психологическим климатом в коллективе

А. Кулик, К.С. Некрасов, И.Д. Варанкин

Научный руководитель: Т.С. Симонов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: tim.sim4@yandex.ru

The concept of a decision support system for managing the psychological climate in a team

A. Kulik, K.S. Nekrasov, I.D. Varankin

Scientific Supervisor: T.S. Simonov

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

E-mail: tim.sim4@yandex.ru

Abstract. *The article presents the concept of the software system for analyzing and improving the psychological climate in the team. The concept based on collecting user requirements using interview and questionnaire methods. The system includes psychological testing, theoretical materials and exercises for employers. Statistics for management, predictive analytic and personalized recommendations are offered. The system is aimed at HR and employees for independent development.*

Key words: *Psychological well-being, HR analytic, employee health monitoring, software system concept, cognitive behavioral therapy.*

Введение

В современных условиях корпоративная среда сталкивается с растущей потребностью в поддержке личностного благополучия сотрудников. Согласно исследованию, проведенному страховым брокером Remind и компанией Inbalansy, более 34 % российских компаний уже внедрили различные формы психологической помощи для персонала, а 43 % планируют сделать это в ближайшее время [1]. Согласно исследованиям, программы благополучия сотрудников влияют на производительность труда и корпоративную прибыль, снижая уровень стресса и предотвращая выгорание сотрудников [2].

На рынке уже существуют решения, такие как «Антистресс», «Meditopia», «Norbu» и другие. Мобильные приложения «Meditopia» и «Norbu» предоставляют инструменты для релаксации и управления стрессом, что не решает задачи глубокой проработки психологических трудностей. Кроме того, они не предлагают менеджменту функций для системного мониторинга и прогнозирования эмоционального состояния сотрудников.

Российская платформа «Антистресс» основана на когнитивно-поведенческой терапии и предлагает обобщённые отчёты для менеджеров, но не включает персонализированные рекомендации менеджерам.

Цель данной работы – разработать концепцию программной системы, которая обеспечит комплексную поддержку психологического благополучия сотрудников.

Экспериментальная часть

Основным методом сбора требований были глубинные интервью с потенциальными пользователями. Они проводились по методологии Customer Development, в результате которых были проверены начальные гипотезы такие как «Компания заинтересована в мониторинге психологического состояния сотрудников», «Перед HR-менеджером стоят задачи, связанные с показателями по текучести кадров, которые можно автоматизировать», «Компания несет ответственность за формирование здоровой рабочей среды»,

«Эффективность сотрудников зависит от их эмоционального и психологического состояния». Всего было проведено 27 интервью с HR-менеджерами, 65 интервью с потенциальными конечными пользователями.

Также в ходе сбора требований было проведено анкетирование сотрудников ООО «Газпром трансгаз Томск». Анкетирование проводилось для анализа отношения к корпоративной поддержке. В выборку вошли 2110 сотрудников, из которых 60 % мужчин и 40 % женщин. Возрастное распределение сотрудников от 20 до 70 лет включительно, наибольшую долю, а именно 22 % ответов, дала группа 36–40 лет.

Результаты

Исходя из проведенных интервью, сотрудники заинтересованы в средстве для повышения личного благополучия. Тем временем компании заинтересованы в снижении затрат, связанных уходом ценных сотрудников. Исходя из этого, целью системы будет снижение уровня выгорания и других психологических проблем сотрудников.

Используя систему, HR-менеджер сможет проводить психологические тестирования сотрудников, собирать статистику по результатам тестов и на её основе формировать отчеты и анализ причин выгорания по отделам. Будут предусмотрены рекомендации для менеджмента компании с целью улучшения психологического климата в коллективе. Сотрудники получают инструмент для самостоятельной проработки психологических проблем. В соответствии с выявленными требованиями, было описано взаимодействие системы и пользователей в виде диаграммы прецедентов изображенной на рис. 1.

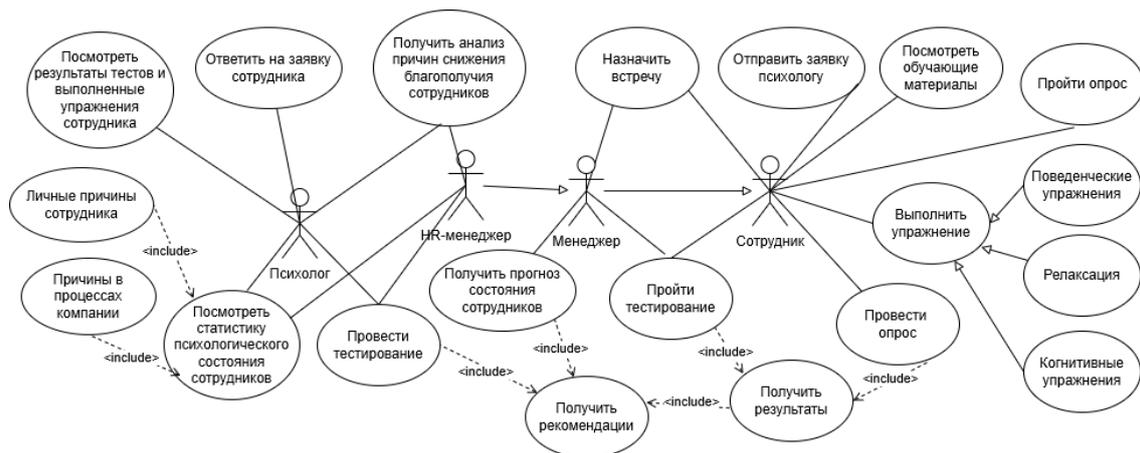


Рис. 1. Диаграмма прецедентов системы

Система включает в себя 4 основных типа пользователей: сотрудник, менеджер, HR, психолог. Сотрудник может: выполнять упражнения, просматривать обучающие материалы, отправлять заявки психологам, проходить тестирования и опросы. Менеджеры могут назначить сотрудникам встречи, проводить опросы сотрудников, получать прогнозы состояния сотрудников. HR может проводить тестирования, просматривать статистику психологического состояния сотрудников, получать анализ причин снижения благополучия сотрудников. Психолог может проводить тестирования, просматривать статистику психологического состояния сотрудников результаты тестов и выполненные упражнения сотрудников, получать анализ снижения благополучия сотрудников, отвечать на заявки, оставленные сотрудниками.

Разрабатываемое приложение имеет клиент-серверную архитектуру. Клиентская часть состоит из Android приложения на языке программирования Kotlin и iOS приложения на языке программирования Swift, а также доступна в форме веб-приложения на базе фреймворка Next.js. В одной из предыдущих публикаций по данной теме клиентская часть описана более подробно [3]. Серверная часть разрабатывается на языке программирования Python с использованием фреймворка FastAPI. В качестве СУБД используется PostgreSQL.

Для определения психологического состояния сотрудников, помимо психологических тестов, будут использоваться заполненные дневники сотрудников. Анализ с помощью будет заключаться в определении эмоциональной окраски дневников, уровня депрессии, уровня выгорания, уровня вовлеченности. Для анализа дневников из-за недостатка данных будет использоваться одна из Больших языковых моделей (LLM), доступных по API. Также рассматривается возможность применения LLM для помощи в определении эмоций и заполнении КПТ-дневника.

Ежедневные задачи будут предлагаться пользователю для методичного продвижения по контенту приложения. Для генерации ежедневных задач пользователя будет реализована онтологическая модель. Данная модель, которая будет учитывать состояние сотрудника и его текущий прогресс для определения следующих упражнений.

Также разрабатывается нечеткая модель для определения вероятности выгорания сотрудника по его личностным характеристикам. Итоговая вероятность выгорания сотрудника рассчитывается как среднее арифметическое между эмоциональным истощением, редукцией профессиональных достижений и деперсонализацией. Для оценки личностных характеристик будет использована пятифакторная модель.

Бизнес-модель проекта ориентирована на корпорации, заинтересованные в улучшении психологического климата, снижении стресса и повышении мотивации сотрудников. Ценность продукта для организаций заключается в сохранении ценных сотрудников и повышении их эффективности за счет улучшения личностного благополучия. Поток выручки проекта – это месячные подписки для организаций. Подписки поделены на 3 пакета: Базовый, расширенный, максимальный. Каждый пакет отличается уровнем доступа сотрудника и предоставляемым функционалом для менеджмента компании.

Заключение

Разработанная концепция программной системы "Одеяло" направлена на создание комплексного инструмента для поддержки личностного благополучия сотрудников. Система включает модуль для самостоятельной проработки психологических проблем и модуль для управления психологическим климатом в коллективе. Использование методов когнитивно-поведенческой терапии, предиктивной аналитики и персонализированных рекомендаций для менеджмента позволяет не только выявлять потенциальные проблемы сотрудников, но и оперативно принимать меры для их предотвращения.

Планируется апробация системы в ряде компаний для тестирования функционала и оценки эффективности предложенных решений. По результатам апробации система будет доработана, а модели дообучены на собранных данных. В дальнейшем развитие проекта предполагает масштабирование на крупные предприятия, расширение набора инструментов для анализа и поддержки, а также интеграцию с корпоративными платформами для удобства использования.

Список литературы

1. Как российские компании поддерживают ментальное здоровье своих сотрудников: исследование Remind и Inbalansy // Блог Inbalansy: сайт. – 2024. – URL: <https://inbalansy.com/tpost/uj88okynm1-kak-rossiiskie-kompanii-podderzhivayut-m>.
2. Казакова М.Е. Влияние программ благополучия и психологического здоровья сотрудников на корпоративную эффективность // Холодная наука. – 2024. – № 7. – С. 52–57.
3. Симонов, Т.С., Пупенко П.А., Пак А.Ю. Разработка мобильного приложения для сопровождения психотерапии и самостоятельной психологической проработки // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник научных трудов. – Томск: НИ ТПУ, 2024. – С. 148–150.

Частная модель жизненного цикла процесса разработки локальной документации организации и угрозы информации

Т.Д. Леоненко, С.С. Якимовец

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: leonenko-0404@mail.ru

A private life cycle model of the organization's local documentation development process and information threats

T.D. Leonenko, S.S. Yakimovets

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. A.A. Konev

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

E-mail: leonenko-0404@mail.ru

***Abstract.** The information system lifecycle was divided into 2 parts: development and operation. This study examines the process of developing an organization's local documentation. To do this, the process was divided into several stages, as well as additional stages were identified. Next, a list of information threats was compiled for each of the stages of the organization's local documentation development process.*

***Key words:** development process, operation process, threats to privacy and integrity.*

Введение

В условиях современного цифрового мира, где киберугрозы становятся всё более сложными и разнообразными, необходимо разработать эффективные подходы к управлению жизненным циклом информационных систем с акцентом на безопасность.

Целью исследования является декомпозиция этапа разработки локальной документации организации для последующего более структурированного составления перечня угроз безопасности информации.

При рассмотрении жизненных циклов информационных систем было произведено деление жизненного цикла на 2 части: разработка и эксплуатация. Процессы разработки рассматривались на примере локальной документации организации.

Результаты

По итогу анализа жизненного цикла информационной системы была составлена диаграмма жизненного цикла разработки локальной документации организации (рис. 1). Сама модель основана на подходе, предложенном в [1].

В ходе работы были выделены 5 основных этапов жизненного цикла разработки локальной документации организации, такие как: инициация, формулирование требований, разработка, принятие, вступление в силу. А также были выделены 2 дополнительных этапа: проверка документа на актуальность и поиск логических ошибок. Дополнительные этапы в жизненном цикле были выделены, как этапы проверки, во время которых может обнаружиться, что документация изначально была с ошибками или что в документации ошибки, появились во время её разработки.

На каждый этап составленного жизненного цикла был составлен перечень угроз конфиденциальности и целостности информации, который отражен в табл. 1. Угрозы были сформированы по примеру, отраженному в [2].

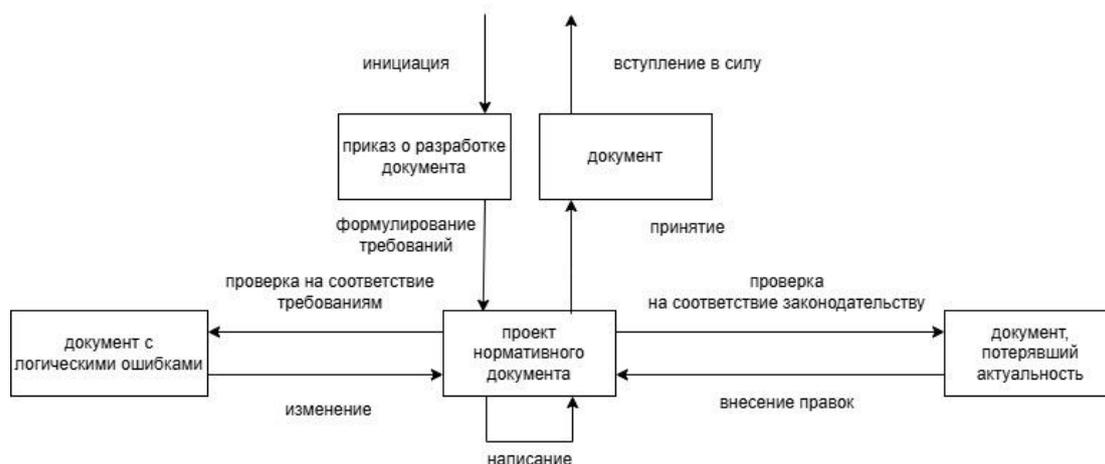


Рис. 1. Этапы разработки локальной документации организации

Таблица 1

Угрозы на этапы процесса разработки локальной документации организации

Этап	Угроза конфиденциальности программного обеспечения	Угроза целостности программного обеспечения
Инициация	Раскрытие информации о проекте нормативного документа.	Появление ошибок при создании плана нормативного документа.
Формулирование требований	Раскрытие информации о требованиях безопасности, предъявляемых к документации.	Задание требований по регламентации процессов обеспечения безопасности нормативного документа, содержащих ошибки, которые при условии их не обнаружения или не исправления могут стать причиной появления уязвимостей.
Разработка	Раскрытие информации о содержании документации.	Внедрение уязвимостей в документацию в ходе её разработки.
Принятие	Хищение физических носителей информации.	Несанкционированный доступ к написанной документации.
Вступление в силу	Раскрытие информации о содержании документа до его вступления в силу.	Несанкционированное изменение в тексте документа до его официального принятия в силу.
Проверка документа на актуальность	Раскрытие информации о несоответствиях, обнаруженных в разрабатываемой документации.	Не исправление обнаруженных несоответствий.
Поиск логических ошибок	Раскрытие информации об ошибках, возникших при разработке документации.	Не исправление обнаруженных ошибок.

Заключение

Благодаря составлению поэтапной диаграммы процесса разработки в жизненном цикле информационной системы получилось выделить конкретные угрозы безопасности для каждого из этапов процесса. В дальнейшем это позволит эффективно выявлять уязвимости на различных этапах разработки системы и предусмотреть меры по защите информации.

Список литературы

1. Конев А.А., Минеева Т.Е., Соловьёв М.Л., Шелупанов А.А., Силич М.П. Модель жизненного цикла системы защиты информации // Безопасность информационных технологий. – 2018. – Т. 25, № 4. – С. 34–41.
2. ГОСТ Р 58412 – 2019. Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. – Москва: Технический комитет по стандартизации ТК 362, 2019. – 27 с.

Влияние электронно-лучевой обработки на шероховатость керамики из диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия

А.А. Лыман, Г.А. Касьянов, А.Е. Петров

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: ll010820011@mail.ru

Effect of electron beam treatment on the roughness of yttria-stabilized zirconia ceramics

A.A. Lyman, G.A. Kasyanov, A.E. Petrov

Scientific Supervisor: Prof., Ph.D. A.S. Klimov

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

E-mail: ll010820011@mail.ru

Abstract. *The modification of zirconium dioxide ceramics with a plasma forevacuum electron source at different processing temperatures was studied. It has been established that increasing the processing temperature makes it possible to increase the height and roughness of the ceramic surface.*

Key words: *ceramic, zirconium, plasma, roughness.*

Введение

На сегодняшний день одним из востребованных и широко распространённых материалов является керамика из диоксида циркония [1]. Данный материал нашел свое применение в различных отраслях науки и техники, таких как микроэлектроника, медицина, аэрокосмическая промышленность и т.д. [2]. Функциональные и структурные свойства циркониевой керамики во многом зависят от ее микроструктуры и состояния поверхности, поэтому разработка методов модификации поверхности является важной задачей исследований. Из существующих методик обработки диоксида циркония можно выделить несколько наиболее подробно представленных в научной литературе – такие как шлифовка поверхности, пескоструйная обработка, химическое травление, лазерное структурирование поверхности [3]. В этом отношении перспективными считаются лучевые технологии, широко используемые для обработки металлов и сплавов [4].

Современные ускорители электронов позволяют осуществлять локальный нагрев различных материалов до температур плавления и выше. В основном модификация электронными пучками происходит при энергиях пучков до 20 кэВ [5]. Цель настоящей работы заключается в определении степени влияния электронно-лучевой обработки на поверхностные свойства керамики из диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия.

Экспериментальная часть

Процесс электронно-лучевой обработки керамики осуществлялся с помощью электронного пучка, формируемого форвакуумным плазменным источником электронного пучка [6]. Электронный пучок, попадая на поверхность образцов, приводил её к локальному нагреву. Керамические образцы размещались в графитовом тигле. Давление в вакуумной камере составляло 3–10 Па, а в качестве рабочего газа использовался гелий. Это позволило поддерживать стабильную работу электронного источника во время процессов обработки материала. Параметры электронного пучка регулировались с помощью системы питания форвакуумного плазменного источника электронов.

В исследовании использовались керамические образцы из диоксида циркония ZrO_2 , стабилизированные оксидом иттрия Y_2O_3 (содержание оксида иттрия 5,15 % мол.), которые были выполнены в виде прямоугольных параллелепипедов длиной 10–12 мм, шириной и

высотой – 5 мм. С помощью электронного сканирующего микроскопа Hitachi TM-1000 были получены изображения поверхностей изделий, снятые со степенью увеличения 2000х. Шероховатости поверхностей получены с помощью оптического профилометра SuperView W1-Chotest Technology Inc. Определение средней величины размера зерна производился согласно ГОСТ 21073.3-75, принцип расчета которого основан на отношении подсчитанных границ зерен на длину пересеченной секущей линии.

Нагрев образцов осуществлялся до температур от 1500 до 2000 °С с шагом 100 °С и выдержкой в течение 5 минут. Изменение температуры обработки изделий проходило за счет варьирования следующих параметров: ускоряющее напряжение U_a , ток разряда I_d и давление в рабочей камере P . На рис. 1 представлена схема экспериментальной установки.

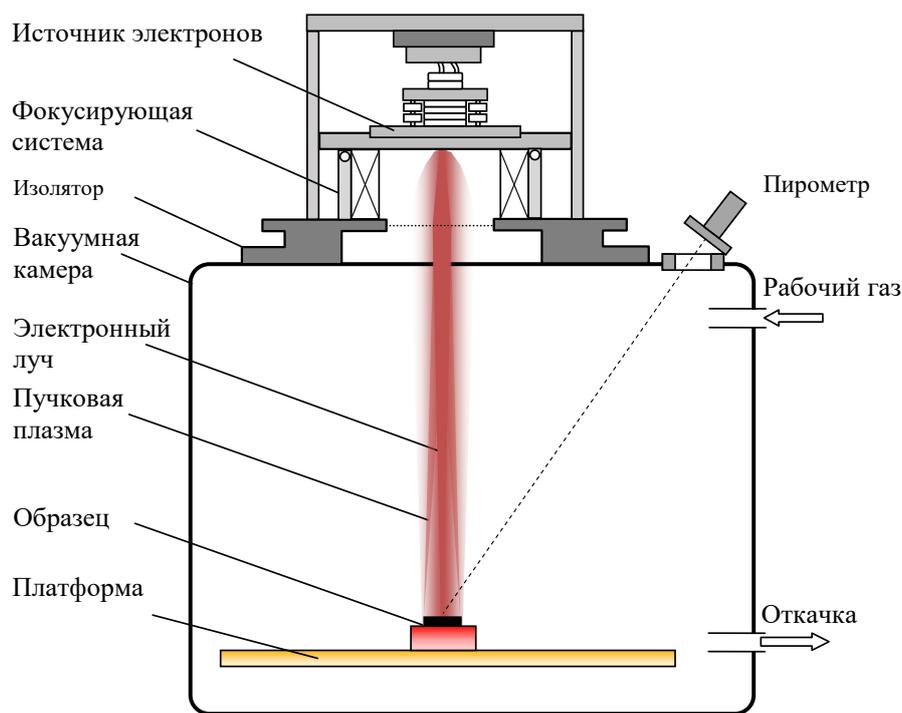


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Результаты

В табл. 1 представлены изображения поверхностей образцов, полученных при различных температурах обработки.

Таблица 1

Изображения поверхностей после обработки при различных температурах

Температура обработки, °С					
1500	1600	1700	1800	1900	2000

Исходя из представленных изображений, можно сделать вывод, что размеры зерен увеличиваются с ростом температуры. Обусловлено это вторичной рекристаллизацией, при которой после завершения первичной рекристаллизации происходит аномальный рост отдельных зерен за счет поглощения более мелких кристаллитов.

На рис. 2 представлена зависимость высоты максимальной и минимальной точки неровностей S_z (а) и среднего размера зерен d (б) от температуры обработки.

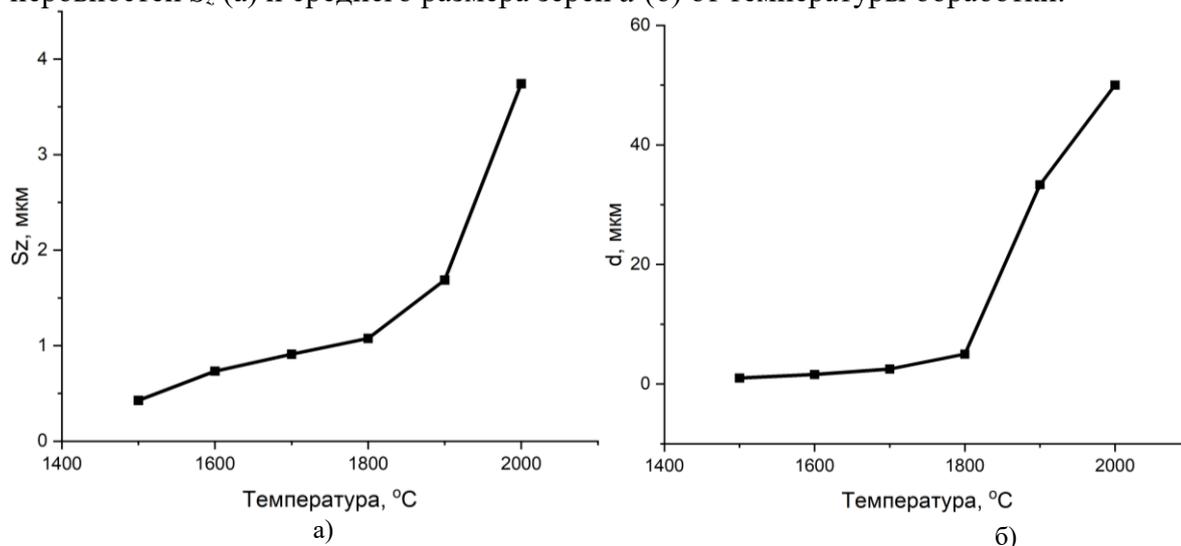


Рис. 2. Температурная зависимость S_z (а); температурная зависимость d (б)

Заключение

Установлено, что электронно-лучевая обработка поверхности керамических образцов из диоксида циркония приводит к рекристаллизации приповерхностных слоев и изменению размера зерен, которое обусловлено вторичной рекристаллизацией поверхности керамики. Также представленные результаты показали, что при температуре свыше 1800 °C начинается значительное увеличение размеров и высоты зерен, которое связано с температурой Таммана, при достижении которой компоненты твердого тела приобретают подвижность. Для диоксида циркония она лежит в диапазоне от 1750 до 1880 °C.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках конкурса FEWM-2024-0006.

Список литературы

1. Layher M., Hopf A., Qasarwa A., Wille T., Götze K., Bliedtner J. Individualized Production of Ceramic Components Using Fused Layer Modelling // Interkeram. – 2022. – Vol. 71 – P. 42–47.
2. Patil N.A., Kandasubramanian B. Biological and mechanical enhancement of zirconium dioxide for medical applications // Ceramics International. – 2020. – Vol. 46, № 4. – P. 819–826.
3. Hanawa T. Zirconia versus titanium in dentistry (review) // Dental materials journal. – 2020. – Vol. 39, № 1. – P. 24–36.
4. Zhao Z., Qi T., Zhou W., Xiao C., Qi J., Zheng Z., Zhao Z. A review on the properties, reinforcing effects, and commercialization of nanomaterials for cement-based materials // Nanotechnology Reviews. – 2020. – Vol. 9, № 1. – P. 303–322.
5. Yushkov Y.G., Zolotykhin D.B., Tyunkov A.V., Oks E.M. Different stages of electron-beam evaporation of ceramic target in medium vacuum // Journal of Applied Physics. – 2020. – Vol. 127, № 11. – Art. № 574.
6. Klimov A.S., Zenin A.A., Bakeev I.Y. Forevacuum-pressure plasma-cathode high-power continuous electron beam source // Review of Scientific Instruments. – 2020. – Vol. 91. – Art. № 033303.

УДК 681.5.015.23:681.515.8

**Оптимизация скользящего режима управления для квадрокоптера
с использованием алгоритма 3SO**С.З. Май

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: maixuandung85@gmail.com

Optimization of Sliding Mode Control for a Quadcopter Using the 3SO AlgorithmX.D. Mai

Scientific Supervisor: Prof., Dr. I.A. Hodashinsky
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: maixuandung85@gmail.com

Abstract. This article presents the application of the 3S Optimizer (3SO) algorithm to optimize the parameters of the sliding mode controller (SMC) for controlling the altitude and state of a UAV in the form of a quadcopter. The optimized controller significantly improves system performance compared to the conventional controller, particularly in terms of rise time, settling time, and steady-state error.

Key words: 3SO algorithm, sliding mode controller, optimization, Quadcopter, UAV.

Введение

Квадрокоптер – это тип беспилотного летательного аппарата (БПЛА), обладающий высокой маневренностью и широко используемый в различных областях, таких как мониторинг, научные исследования, транспортировка, поиск и спасение и др. В то же время, из-за сложных динамических характеристик и воздействия множества неопределенных факторов, разработка эффективной системы управления для квадрокоптера является нетривиальной задачей. Квадрокоптер состоит из четырех двигателей с пропеллерами, расположенных симметрично по схеме креста. Эта система имеет возможность управления движением по шести степеням свободы, включая три поступательных движения и три вращательных движения вокруг осей OX, OY, OZ. Модель динамики квадрокоптера описаны выражениями [3].

Скользящий режим управления (СРУ) является эффективным решением, применяемым для управления квадрокоптерами [1–3]. Однако, эффективность скользящего режима управления значительно зависит от выбора параметров скользящей поверхности. С целью повышения качества управления, в данной статье предлагается использование алгоритма 3SO [4] для оптимизации этих параметров.

Метод оптимизации СРУ с использованием алгоритма 3SO

Алгоритм 3SO – метод глобальной оптимизации, объединяющий локальную эксплуатацию и глобальное исследование для быстрой и точной сходимости. Он делит популяцию на три группы и использует пять стратегий поиска, что снижает риск ранней сходимости и повышает эффективность оптимизации [4].

При применении алгоритма 3SO задача оптимизации СРУ может быть описана как задача поиска экстремума с ограничениями. Цель заключается в определении коэффициентов регулятора ($\mathbf{K} = [(k_{1z}, k_{2z}) (k_{1\phi}, k_{2\phi}) (k_{1\theta}, k_{2\theta}) (k_{1\psi}, k_{2\psi})]^T$), так чтобы управляющая ошибка ($\mathbf{E}(t) = [e_z(t) e_\phi(t) e_\theta(t) e_\psi(t)]^T$) была минимизирована, при этом удовлетворяя ограничениям по динамике ($\mathbf{G} = [(\text{POT}_z, t_{sz}, t_{rz}) (\text{POT}_\phi, t_{s\phi}, t_{r\phi}) (\text{POT}_\theta, t_{s\theta}, t_{r\theta}) (\text{POT}_\psi, t_{s\psi}, t_{r\psi})]^T$) по перерегулированию «POT», времени нарастания « t_r » и времени перехода « t_s ». Процесс

оптимизации осуществляется через оценку функции «fitness» $F(t) = \int E^2(t)dt + G$. Необходимые параметры для построения функции «fitness» определяются на основе схемы на рис. 1.

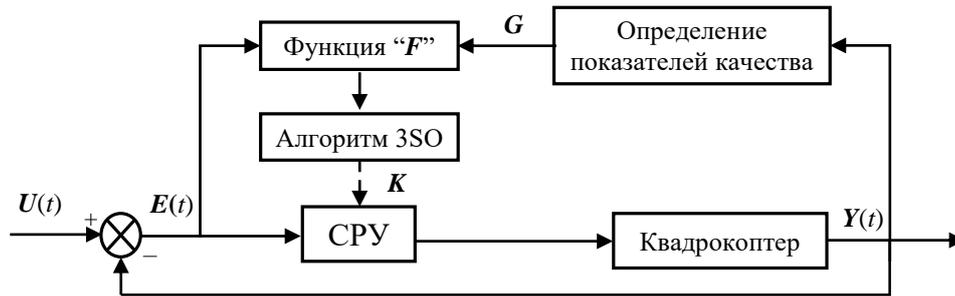


Рис. 1. Схема управления квадрокоптером и определение параметров функции «fitness»

Здесь: $U(t) = [z_d(t) \ \phi_d(t) \ \theta_d(t) \ \psi_d(t)]^T$ – входное значение; $Y(t) = [z_m(t) \ \phi_m(t) \ \theta_m(t) \ \psi_m(t)]^T$ – выходной отклик.

Результаты

Для проверки и сравнения результатов мы использовали параметры квадрокоптера и СРУ, опубликованные в исследовании [3].

Параметры алгоритма 3SO применялись ко всем четырем каналам управления следующим образом: количество особей в популяции равно 50, количество итераций – 20, размер области поиска определяется 0–400. В процессе оптимизации были получены оптимальные коэффициенты регулятора для углов Эйлера и высоты: $k_{1z} = 216$, $k_{2z} = 134$, $k_{1\phi} = 72$, $k_{2\phi} = 368$, $k_{1\theta} = 75$, $k_{2\theta} = 384$, $k_{1\psi} = 21$, $k_{2\psi} = 84$.

Результаты проверки и сравнения отклика выходных данных каналов управления при входе в виде единичной ступенчатой функции показаны на рис. 2. Качество работы соответствующих регуляторов представлено в табл. 1.

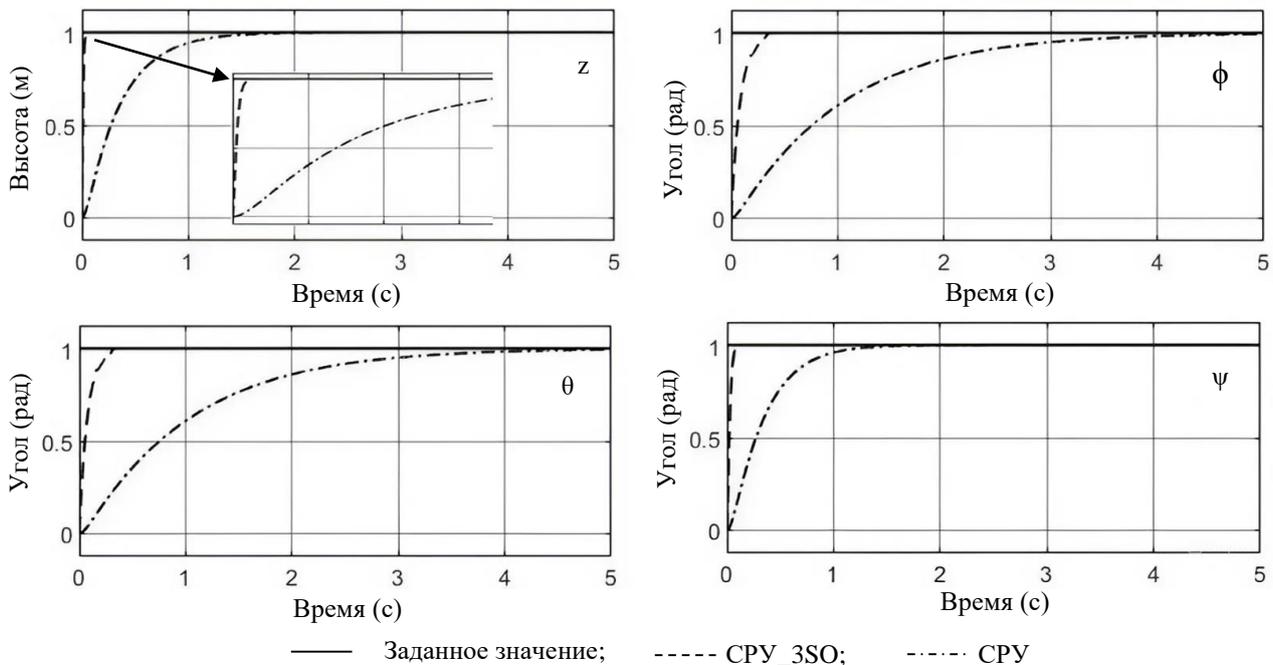


Рис. 2. Выходной отклик канала высоты и углов Эйлера при единичном ступенчатом входном сигнале

Таблица 1

Показатели качества регуляторов

Канал управления	Показатель			
	Перерегулирование (%)	Время нарастания	Время установления	Установившаяся ошибка
СРУ с коэффициентами, оптимизированными с помощью алгоритма 3SO (СРУ_3SO)				
Высота z	0	0,0206	0,0361	5×10^{-7}
Угол ϕ	0	0,2088	0,3278	43×10^{-7}
Угол θ	0	0,1881	0,3025	2×10^{-6}
Угол ψ	85×10^{-6}	0,0484	0,0814	65×10^{-7}
СРУ с параметрами из [3] (СРУ)				
Высота z	0	0,7422	1,3485	2×10^{-6}
Угол ϕ	0	2,1713	3,8593	34×10^{-6}
Угол θ	0	2,1713	3,8593	38×10^{-6}
Угол ψ	0	0,6745	1,1943	31×10^{-7}

Заключение

Применение алгоритма 3SO позволило нам определить оптимальные параметры для скользящего регулятора, что значительно повысило эффективность управления квадрокоптером. Как показано в таблице 1, такие показатели, как перерегулирование и установившаяся ошибка, для обоих регуляторов минимальны и практически равны нулю. Время нарастания и время переходного процесса также значительно улучшены по сравнению с не оптимизированным скользящим регулятором. Эти результаты подтверждают эффективность предложенного метода. В дальнейшем мы планируем доработать решение для всех шести каналов управления квадрокоптера, а также исследовать применение данного подхода для разработки скользящего регулятора с нечеткой логикой, что позволит снизить эффект дрожания и повысить качество управления.

Список литературы

1. Ahmed E., Mohd F.R., Mohd A.M.B., Mohammed Eltoum M.A., Magdi S.M. Integral Adaptive Sliding Mode Control for Quadcopter UAV Under Variable Payload and Disturbance // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10 – P. 94754–94764.
2. Nguyen N.P., Nguyen X.M., Ha L.N.N.T., Huynh T.T., Ngoc. T.L., Sung K.H. Adaptive Sliding Mode Control for Attitude and Altitude System of a Quadcopter UAV via Neural Network // IEEE Access. – 2021. – Vol. 9 – P. 40076–40085.
3. Тран В.Т., Кориков А.М. Синтез адаптивного скользящего режима управления полетом квадрокоптера в условиях переменной нагрузки и помех // Доклады ТУСУР, 2022.– Т. 25, № 2. – С. 37–44.
4. Li Y. 3S optimizer: a new meta heuristic global optimization algorithm // Evolutionary Intelligence. – 2024. – Vol. 17 – P. 3535–3552.

Цифровая схема управления источником-измерителем для тестирования фотонных интегральных схем с помощью интерфейса SPI

М.А. Мотовилов

Научный руководитель: к.т.н. И.В. Юнусов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634034

E-mail: mark.a.motovilov@tusur.ru

Digital meter control circuit for testing photonic integrated circuits using the SPI

M.A.Motovilov

Scientific Supervisor: Ph.D. I.V. Yunusov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634034

E-mail: mark.a.motovilov@tusur.ru

Abstract. *In the present study, we developed the concept and layout of a small-sized source-meter with a digital control unit to improve the testing efficiency of photonic integrated circuits. This digital control unit is designed on the basis of the ESP-32 microcontroller, is programmed in the Arduino language and communicates with other circuit devices using the Serial Peripheral Interface.*

Key words: *Source Measuring Unit, SPI, Signal converter, Photonic Integrated Circuit.*

Введение

В настоящий момент тестирование интегральных аналоговых ФИС с помощью источников-измерителей SMU (Source Measuring Unit) имеет ряд проблем, связанных с габаритами источников, количеством измеряемых портов, диапазоном измеряемых и задаваемых значений токов и напряжений. Например, для получения измерений тока и напряжений для аналогового оптического перемножителя матриц необходимо параллельно производить операции подачи и получения сигнала с 74 портов, чтобы уменьшить время тестирования. Так, например линейка моделей SMU Keysight от американской компании Keithley представляет собой источники питания с четырёхквadrантными диапазонами напряжения от -100 до +100 В, -10 А до +10 А. Однако число обрабатываемых параллельно каналов обычно ограничивается двумя, что не даёт возможности производить оперативную обработку микросхем с большим количеством выводов. Недорогой SMU от канадской фирмы National Instruments PXLe-1085 способен обрабатывать до 18 каналов, при этом имеет большую габаритность. Таким образом, разработка универсального многоканального источника-измерителя, с большим диапазоном измеряемых токов и напряжений, и небольших габаритов может повысить быстродействие в тестировании работоспособности ФИС [1]. Исходя из тщательного исследования аналогов на мировом рынке можно сделать вывод что для обеспечения скорости контроля качества микросхем необходимо разработать универсальное устройство с широким диапазоном токов и напряжений, имеющим небольшие габариты и небольшую стоимость. Такими решениями занимаются предприятия и НИИ исходя из конкретных параметров, которые требует заказчик. Одно из таких решений предлагает лаборатория интегральной оптики при ТУСУР.

Экспериментальная часть

На данный момент разработана схема SMU состоящая из микроконтроллера Arduino UNO, электронных изоляторов сигнала, мультиплексоров, сдвиговых регистров, ЦАП и АЦП. Разработка схемы началась с распределения подключения элементов схемы в САПРе Splan70. Далее, в программе Sprint Layout была разработана разводка схемы, представленная на рис. 1. Данная схема предназначена для исполнения в качестве макета.

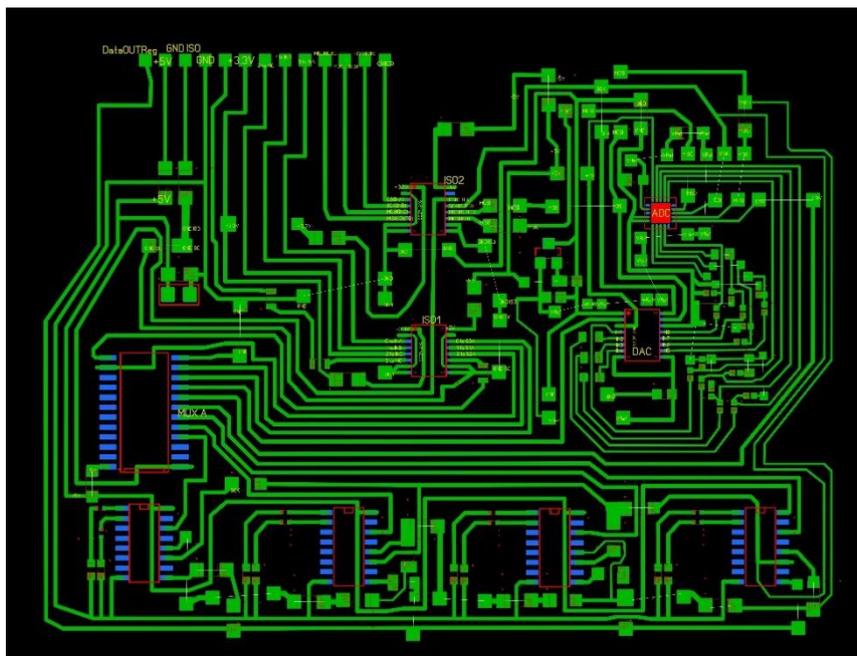


Рис. 1. Разводка макета схемы цифрового блока источника-измерителя

В качестве микроконтроллера планируется использование ESP32 ввиду её высокой производительности и широкого выбора поддерживаемых интерфейсов и протоколов. Для обеспечения коммуникации между ведущим микроконтроллером и ведомыми устройствами, в виде цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразователями было принято использовать интерфейс SPI. Выбор SPI интерфейса был обусловлен более низкими требованиями к энергопотреблению, в отличие от I2C и GPIB [2]. Ещё одно видное преимущество SPI – использование только четырёх выводов для подключения между ведущим и ведомым компонентами, что обеспечивает большую компактность итоговой схемы устройства. Выходные порты SPI на плате ESP32 подключаются к цифровому изолятору для снижения внутренних шумов [3]. Затем с помощью 16-канальных мультиплексоров ADG739BRUZ-REEL7, работающих в режиме демультиплексоров, будет производиться умножение CS сигналов, активирующих ведомое устройство, до необходимых значений. Так как одной из основной задачи ЛИОР является обеспечение тестирования нейроморфных перемножителей матриц, необходимо оснастить устройство пятью мультиплексорами ADG739BRUZ-REEL7. SCK сигнал используется для синхронизации при передаче данных. Шина MOSI предназначена для последовательной передачи данных от ведущего к ведомому. В схеме к данной шине подключается цифро-аналоговый преобразователь AD5328 и аналого-цифровой преобразователь AD7689BCPZ. Шина MISO данный сигнал предназначен для последовательной передачи данных от ведомого к ведущему. Сигнал MISO так же использует аналого-цифровой преобразователь AD7689BCPZ. Далее производится подключение CS каналов к многоканальному ЦАП. От ЦАП сигнал в виде 12-битного значения, преобразуется в напряжение и идёт на микросхемы с наличием операционного усилителя для увеличения подаваемого напряжения, шунта для определения величины силы, подаваемого на нагрузку, в виде тестируемого порта ФИС [4, 5]. Напряжение на порте определяется с помощью инструментального усилителя. Затем значения передаются через АЦП на контроллер, преобразовываясь в 16-битное значение. Чтобы определить корректность подаваемого сигнала на ФИС, сигнал, преобразованный в двоичный код, поступает на сдвиговые регистры SN74HC595D и отображается в виде параллельного сигнала на светодиодах, подключенных к выходным портам регистров [6].

Результаты

В результате работы была разведена макетная схема 100 на 73 мм для подключения 8-ми каналов. Добиться таких размеров удалось с помощью уменьшения ширины проводников и расстояния между ними до размеров 0,3–0,5 мм и использования мультиплексоров с количеством выводов до 16 портов, что позволяет уменьшить количество компонентов на схеме. Освоена коммуникация цифровых микроконтроллеров Arduino и ЦАП/АЦП с помощью протокола SPI. По протоколу SPI был установлен поочередный контакт с АЦП AD7705 и ЦАП MCP4921. Данные с АЦП при изменении напряжения с помощью переменного резистора переводились в 16 битный диапазон значений. Вводя значения в 12-битном диапазоне для MCP4921, на выводе ЦАП, подключённого в первый аналоговый порт в Arduino. Так же в качестве тестирования работы ЦАП и АЦП был проведён эксперимент со светодиодом, в результате которого была построена ВАХ светодиода.

Заключение

В результате проведенных исследований была разработана и разведена схема источника-измерителя, обеспечивающая подачу сигнала на 8 аналоговых нагрузочных резисторах, имитирующих порт ФИС. Использование интерфейса SPI позволяет значительно упростить процесс взаимодействия между источником-измерителем и тестируемыми устройствами, обеспечивая быструю и эффективную передачу данных. В результате, предложенная методика может быть успешно применена в научных исследованиях и промышленности для оптимизации процессов тестирования и повышения качества фотонных интегральных схем. Дальнейшие исследования могут быть направлены на улучшение алгоритмов обработки данных и расширение функциональных возможностей схемы, что позволит повысить ее универсальность и адаптивность к различным условиям тестирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта FEWM 2024-0004.

Список литературы

1. Bell D.A. Electronic Measurement and Instrumentation. – Virginia: Reston Publishing Company, 1983. – 531 p.
2. Иванов С.П. Микроконтроллер ESP32: возможности и применение в современных устройствах // Радиоэлектроника. – 2021. – Т. 29, № 4. – С. 78–83.
3. Петрова Е.А. Цифровые изоляторы в системах управления: принципы работы и применение // Электронные технологии. – 2020. – Т. 15, № 1. – С. 25–30.
4. Axelson J. Serial Port Complete: The Developer's Guide. 2nd Edition. – Madison: Lakeview Research LLC, 2003. – 600 p.
5. Федоров В.А. Применение интерфейса SPI в системах управления // Научные труды МГТУ. – 2022. – Т. 24, № 2. – С. 100–105.
6. Михайлов А.В. Цифровые устройства и системы: Учебное пособие. – Москва: Издательство МГТУ, 2015. – 320 с.

УДК 621.391.825

**Анализ характеристик дифференциальной линии передачи
в виде внутренней спирали**

М.С. Мурманский, С.В. Власов

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 47, 634050

E-mail: mihailmurmanskii@gmail.com

**Analysis of the characteristics of a differential transmission line
in the form of an internal spiral**

M.S. Murmanskyy, S.V. Vlasov

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. Y.S. Zhechev

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

E-mail: mihailmurmanskii@gmail.com

Abstract. *The study investigates the impact of an internal spiral conductor routing scheme on the characteristics of a differential transmission line (TL). A time-domain and frequency-domain analysis was conducted, demonstrating interference attenuation by a factor of 3,33 (10,46 dB). The signal integrity was analyzed at data rates of 1 and 2 Gbit/s, revealing an improvement in the signal-to-noise ratio with increasing speed. The obtained results confirm the effectiveness of the proposed routing method in enhancing the electromagnetic interference immunity of differential TLs.*

Key words: *microstrip transmission line, useful signal integrity, interference attenuation.*

Введение

Скорости передачи данных в современном мире продолжают расти, и для обеспечения таких высоких скоростей используют дифференциальные линии передачи (ЛП). Они позволяют эффективно передавать сигнал на больших скоростях по сравнению с одиночными линиями, обеспечивая при этом лучшие характеристики помехозащищенности. Однако такие линии остаются подверженными кондуктивным электромагнитным помехам (ЭМП). Так в [1] рассматриваются дифференциальные ЛП с сильной электромагнитной связью между их витками, а в [2] для улучшения помехоподавления используется электромагнитный поглотитель. В работе [3] применялось машинное обучение (МО) для оптимизации характеристик дифференциальных ЛП, и результаты показали, что МО ускоряет этот процесс. В [4] для снижения перекрестных помех и улучшения помехоподавления использовались шлейфы между проводниками, а в [5] предлагалась трассировка ЛП в виде внутренней спирали с той же целью. Однако ранее данная трассировка ЛП исследовалась только в одиночном режиме передачи сигнала. Исходя из этого, целью данной работы является исследование трассировки ЛП в виде внутренней спирали, работающей в дифференциальном режиме.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования выбрана связанная микрополосковая ЛП, свернутая в виде внутренней спирали [5]. На рис. 1 показано поперечное сечение и схема включения исследуемой структуры. Параметры поперечного сечения: ширина проводников $w = 0,9$ мм, толщина проводников $t = 0,018$ мм, расстояние между проводниками $s = 0,15$ мм, расстояние между парами $d = 0,15$ мм, высота диэлектрической подложки $h_1 = 0,206$ мм, общая длина проводников $l = 300$ мм. В качестве диэлектрической подложки использован FR-4 с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 4,3$ и тангенсом угла диэлектрических потерь $tg\delta = 0,025$. Номиналы резисторов составили 100 Ом.

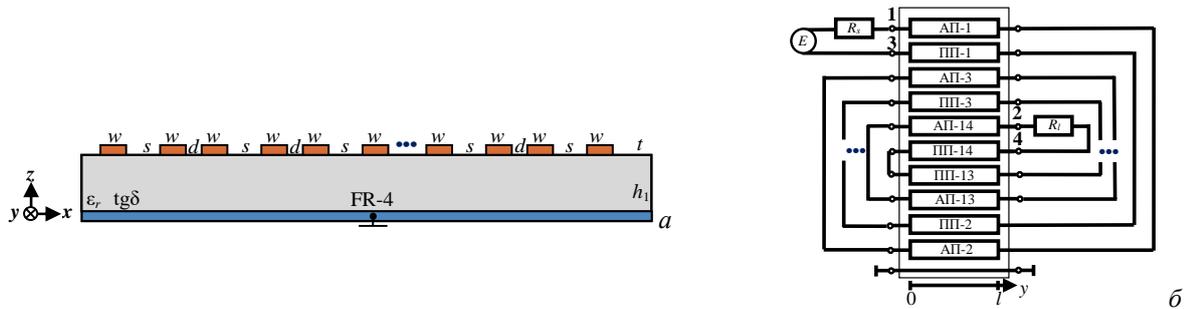


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и схема включения (б) для исследуемой структуры

В качестве помехового воздействия выбрана сверхширокополосная (СШП) ЭМП с частотным спектром от 0,1 до 6 ГГц. Для анализа временных откликов использованы *N*-нормы. На рис. 2 представлена форма СШП помехи во временной области и ее спектральная плотность напряжения. На рис. 3 представлен временной отклик на СШП ЭМП и коэффициент передачи в дифференциальном режиме $|S_{dd21}|$ для исследуемой структуры.

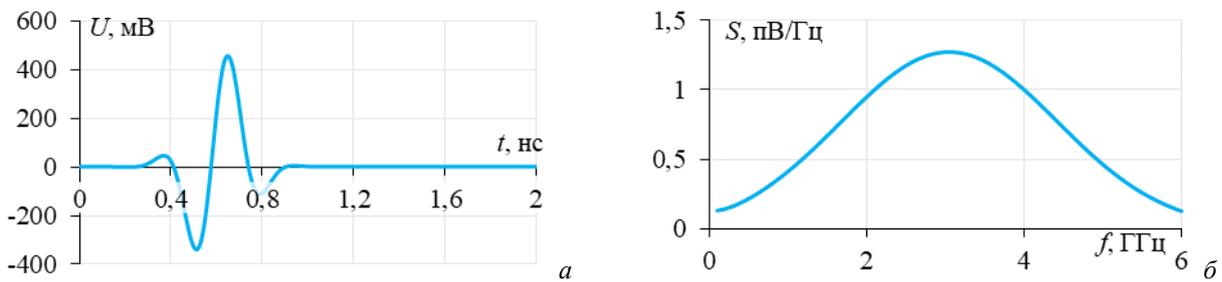


Рис. 2. Гауссов импульс во временной области (а) и его спектральная плотность по напряжению (б)

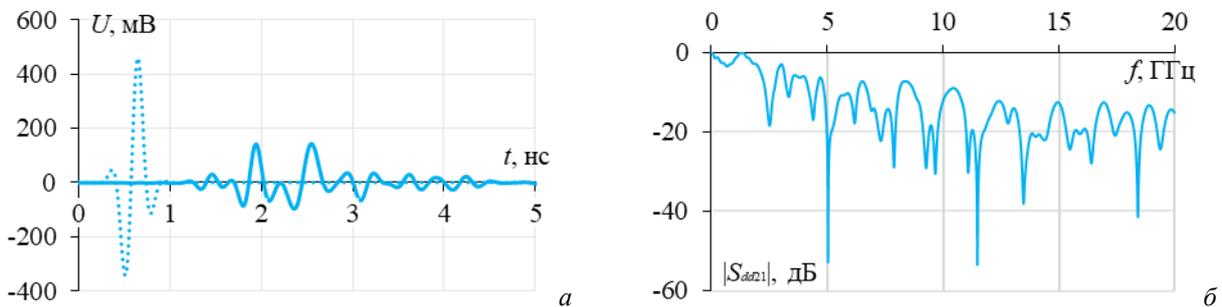


Рис. 3. Временной отклик на входе (···) и выходе (-) (а) и $|S_{dd21}|$ (б) для исследуемой структуры

Из рис. 3, а видно, что максимальная амплитуда на выходе структуры составляет 144 мВ. Это говорит о том, что помеха в дифференциальном режиме ослабилась в 3,71 раза (или 11,39 дБ) относительно половины э.д.с. Также видно 2 четких импульса разложения на 1,85 и 2,43 нс, соответственно. При анализе частотной области, видно, что полоса пропускания структуры по уровню минус 3 дБ составляет 2 ГГц. Также наблюдается явные резонансы на всем частотном диапазоне $|S_{dd21}|$. Для детального анализа временных откликов использованы *N*-нормы.

Таблица 1

Вычисленные *N*-нормы на входе и выходе для исследуемой структуры

	$N_1 \cdot 10^3$	$N_2 \cdot 10^{-10}$	$N_3 \cdot 10^{-12}$	$N_4 \cdot 10^{-10}$	$N_5 \cdot 10^{-6}$
Вход	535	1,101	7,635	1,765	6,051
Выход	144	0,2612	7,055	1,09	2,565

Из табл. 1 видно, что применение схемы трассировки проводников в виде внутренней спирали в дифференциальном режиме позволяет уменьшить значения *N*-норм. Так значение

N -норм снизилось: N_1 в 3,71 раза, N_2 – 4,215 раза, N_3 – 4,215 раз, N_4 – 1,082 раз и N_5 – 2,35 раза. Тем самым было достигнуто значительное уменьшение вероятности электрического пробоя диэлектрика или выгорания элемента.

Анализ целостности полезного сигнала

Для оценки полезного сигнала использовалась псевдослучайная битовая последовательность размерностью 10000 бит со скоростями 1 и 2 Гбит/с. Данная скорость была определена по полосе пропускания исследуемой структуры. На рис. 4 представлены глазковые диаграммы для скоростей 1 и 2 Гбит/с.

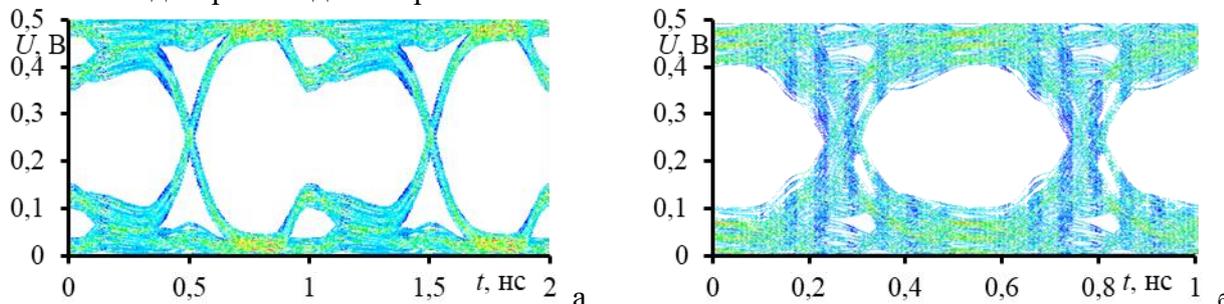


Рис. 4. Глазковые диаграммы для скоростей 1 (а) и 2 Гбит/с (б)

Значение отношения сигнал/шум при скорости 1 Гбит/с составило 3,8, а при скорости 2 Гбит/с – 7,54. При этом при увеличении скорости возросли среднеквадратичное и пиковое фазовое отклонения. Среднеквадратичное отклонение увеличилось с 10 до 50 пс, пиковое отклонение с 35 до 163 пс. Также высота открытия «глаза» уменьшилась с 278 до 195 мВ.

Заключение

Таким образом, применение схемы трассировки проводников в виде внутренней спирали не только позволяет передавать полезный сигнал в дифференциальном режиме, но и подавлять кондуктивные СШП ЭМП.

Список литературы

1. Власов С.В. Способ трассировки двух дифференциальных пар с сильной электромагнитной связью между парами // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник научных трудов XXI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2024. – С. 18–20.
2. Трубоченинов В.А., Власов С.В., Жечев Е.С. Исследование влияния электромагнитного поглотителя на временные и частотные характеристики дифференциальной линии передачи // Журнал радиоэлектроники. – 2025. – № 1.
3. Павлов Н.С., Власов С.В. Применение машинного обучения для анализа частотных характеристик двух связанных дифференциальных пар // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник научных трудов XXI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2024. – С. 15–17.
4. Мурманский М.С. Влияние шлейфов между проводниками двух связанных линий передачи на значения дальней перекрестной помехи // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник научных трудов XXI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2024. – С. 100–102.
5. Murmanskyy M.S., Kuzmin N.O., Zabolotsky A.M. Impact of Routing on EMI Resilience in High-Speed Digital PCBs: A Time-Domain Analysis // 2024 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – Magnitogorsk: IEEE, 2024. – P. 735–739.

**Электронно-лучевая переплавка поверхности стали
с использованием форвакуумного источника**

Л.Ж. Нгон А Кики, А.А. Зенин, Ф.А. Суховольский

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: joelngon52@gmail.com

Electron beam remelting of the steel surface using a fore-vacuum source

L.J. Ngon A Kiki, A.A. Zenin, F.A. Sukhovolskiy

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

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

E-mail: joelngon52@gmail.com

***Abstract.** We present electron beam remelting of steel surface. Electron beam was produced by forevacuum plasma electron source. The melting was carried out with a stationary and moving target. The depth and width of the melt were measured depending on the irradiation time and the movement speed of the target.*

***Key words:** plasma electron source, fore-vacuum, metal remelting.*

Введение

Один из способов улучшения антикоррозионных свойств, а также повышения твердости и износостойкости металлических изделий состоит в электронно-лучевой переплавке поверхностного слоя с присадкой постороннего вещества. В качестве присадок чаще всего используют порошки тугоплавких металлов либо диэлектрических материалов: оксидов, нитридов, карбидов [1]. Под действием электронного пучка частицы диэлектрического порошка могут заряжаться, что вызывает их разлет и, следовательно, снижение эффективности операции. При проведении наплавки в высоком вакууме требуется принятие специальных мер по предотвращению этого нежелательного явления. Как отмечается в [2], проблема зарядки диэлектриков в значительной степени устраняется при использовании форвакуумных плазменных электронных источников, диапазон рабочих давлений которых составляет единицы-десятки Паскаль. Это способствует формированию пучковой плазмы, обеспечивающей компенсацию отрицательного заряда, приносимого пучком, положительным зарядом ионов из пучковой плазмы. Цель настоящей работы заключается в демонстрации применения электронного луча в форвакууме для переплавки поверхности металла.

Экспериментальная часть

Эксперимент проводился в атмосфере азота при давлении 4,3 Па на установке, схематическое изображение которой представлено на рис. 1. На фланце вакуумной камеры 1 располагался форвакуумный плазменный электронный источник 2. Электропитание разрядной и ускоряющей систем источника осуществлялось выпрямителями U_d и U_a . Электронный пучок 3 с помощью магнитной линзы 4 фокусировался на поверхности образца 5 в пятно диаметром 1 мм. Образец закреплен в однокоординатной системе перемещения. Измерения проводились на образцах, изготовленных из стали 09Г2С и нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Толщина образцов составляла 5 и 8 мм, соответственно. Для определения возможных режимов наплавки были выполнены измерения глубины и ширины проплава в зависимости от длительности облучения при разных энергиях электронов в пучке. При этом энергия задавалась величиной ускоряющего напряжения U_a .

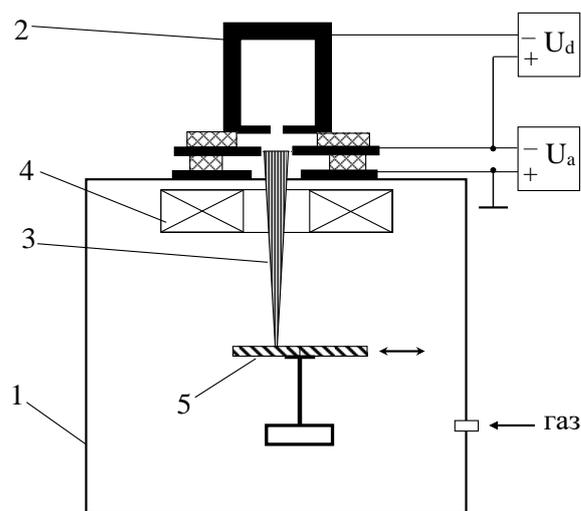


Рис. 1. Схема установки

Измерения глубины и ширины проплава производились на поперечном шлифе после травления в пятипроцентном растворе азотной кислоты в этиловом спирте (рис. 2). На рис. 3 представлены результаты измерения глубины h и диаметра d проплава в зависимости от времени облучения для разных ускоряющих напряжений. Ток пучка 90 мА.



Рис. 2. Образцы после облучения: вид сверху (а) и поперечный шлиф (б)

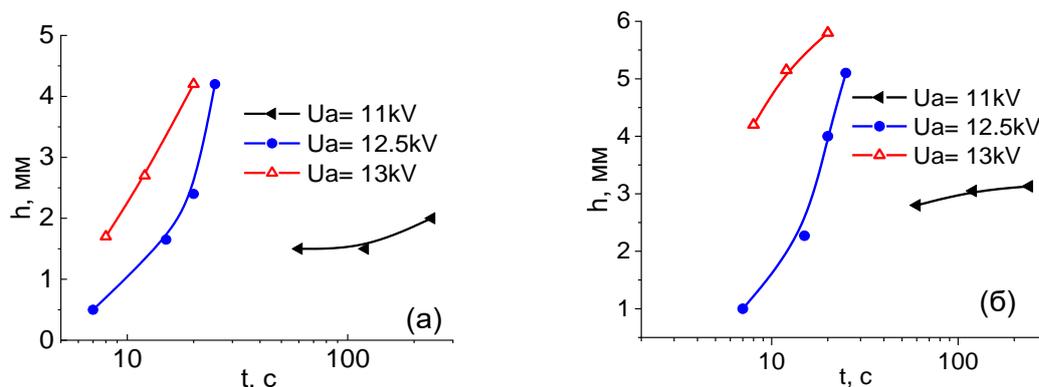


Рис. 3. Зависимость глубины h (а) и ширины d (б) проплава от времени t воздействия электронного пучка для разных ускоряющих напряжений. Материал - сталь 09Г2С

Наряду с экспериментами в стационарном режиме были выполнены измерения с перемещением образца при ускоряющем напряжении $U_a = 12$ кВ.

Результаты

На рис. 4 представлены фотографии поверхности после однократного прохода на образцах стали 09Г2С (а) и нержавеющей стали 12Х18Н10Т (б). Из рассмотрения фотографий следует, что на нержавеющей стали швы имеют более гладкую поверхность. Причиной этого может быть различие в вязкости расплава, благодаря чему на нержавеющей стали расплав успевает растечься перед затвердеванием. Для получения сведений о влиянии переплава на свойства металла были выполнены измерения твердости исходных и переплавленных участков поверхности. Измерения проведены с использованием микротвердомера ПМТ-3. Результаты, приведенные в табл. 1, демонстрируют, что даже в отсутствие присадки переплав вызывает повышение твердости металла. Причем, повышение тем заметнее, чем ниже скорость перемещения образца, т.е. чем дольше металл находится в расплавленном состоянии. Наиболее вероятная причина повышения твердости заключается, по-видимому, в закалке приповерхностного слоя металла.

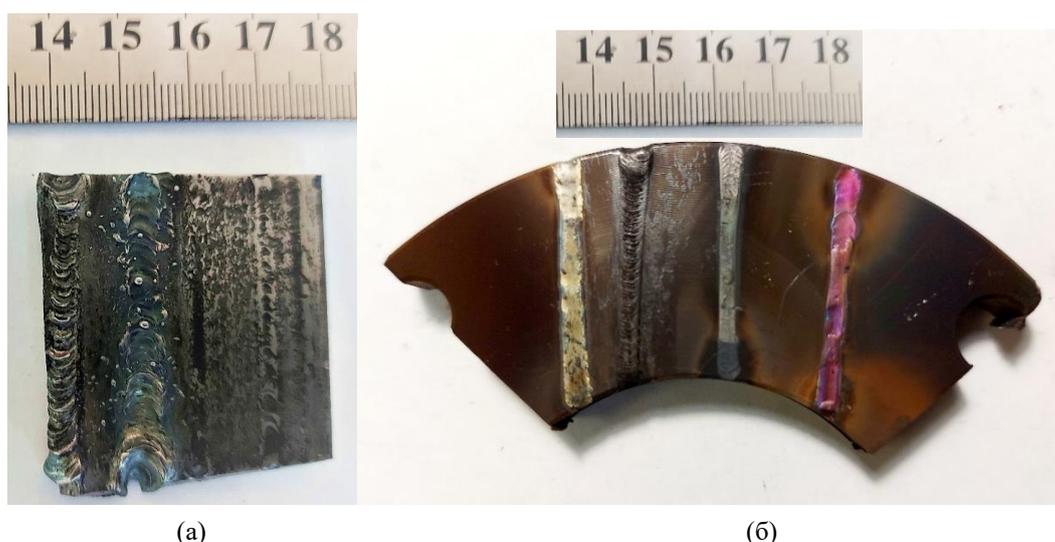


Рис. 4. Фотографии проплавов для разных металлов: сталь 09Г2С (а), нержавеющая сталь 12Х18Н10Т (б)

Таблица 1

Твердость H поверхности для разных скоростей v перемещения образца

v , мм/с	Исходн.	4	3	0,6	0,17
H , ГПа	1,4	1,6	1,8	2,2	2,7

Заключение

Выполненные эксперименты продемонстрировали возможность использования форвакуумного плазменного электронного источника для переплава поверхности как черной стали, так и стали нержавеющей, что открывает перспективы для проведения экспериментов по модификации приповерхностного слоя металла с введением присадок.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-10037, <https://rscf.ru/project/24-79-10037/>.

Список литературы

1. Гнусов С.Ф., Дураков В.Г. Электронный луч в формировании неравновесных структур. – Томск: Издательство томского политехнического университета, 2012. – 114 с.
2. Бурдовицин В.А., Климов А.С., Медовник А.В., Окс Е.М., Юшков Ю.Г. Форвакуумные плазменные источники электронов: монография. – Томск: Изд-во Томского университета, 2014. – 288 с.

УДК 621.3

**Стабилизатор температуры для магнита и образцов с терморегулятором
портативного ПМР-релаксометра**

Д.А. Нгуен

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Р.С. Кашаев
Казанский государственный энергетический университет
Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51, 420069

E-mail: navypro1991@gmail.com**Temperature stabilizer for magnets and samples with temperature controller
for portable PMR relaxometer**

D.A. Nguyen

Scientific Supervisor: Prof., Dr. R.S. Kashaev
Kazan State Power Engineering University, Russia, Kazan, Krasnoselskaya St., 51, 420069

E-mail: navypro1991@gmail.com

Abstract. *The PMR portable relaxometer is one of the measuring devices using the nuclear (proton) magnetic resonance method. The advantages of this method are versatility, high efficiency and low cost. However, these devices also have strict requirements for operating conditions, including temperature stability. In this paper, the authors present the effect of temperature changes on measurement accuracy and a developed device for stabilizing the temperature of the magnet and sample during operation of a portable PMR relaxometer.*

Key words: *Magnet, nuclear magnetic resonance, sample, temperature, controller, thermoblock.*

Введение

Метод измерения релаксации протонного магнитного резонанса (ПМР) является одной из областей РЧ-спектроскопии [1, 2], в которой используются особые свойства атомного спина (протона) при возбуждении радиочастотными волнами в сильном и однородном магнитном поле. Измерение параметров атомных ядерных спинов позволяет нам определять свойства, связанные с материей.

Ядерный спин по сути представляет собой угловой момент, поэтому его значение зависит от внешних факторов, таких как температура или направленные электромагнитные волны. Температура может влиять на частоту ядерной прецессии, равновесную намагниченность, а также скорость расширения и диффузии. Влияние температуры на частоту прецессии возникает за счет тепловых изменений ядерного щита [4], и ее вклад в амплитуду сигнала ПМР невелик. Однако в действительности влияние температуры на амплитуду сигнала ПМР обычных последовательностей во многом обусловлено влиянием на равновесную намагниченность и расширение [3].

Экспериментальная часть

В портативных приборах ПМР магнитное поле создается постоянными магнитами, которые обычно изготавливаются из сплава NdFeB. Плотность магнитного поля таких магнитов зависит от изменений температуры, что, в свою очередь, приводит к изменению резонансной частоты. В [5] показано, что зависимость резонансной частоты ПМР от температуры окружающей среды для магнита, изготовленного из сплава NdFeB, описывается следующей формулой:

$$\nu_0 (\text{кГц}) = 18450 - 11,65 * [t_{\text{Магн}} (\text{°C}) - 20]$$

Это выражение показывает, что при изменении температуры на 100 °С резонансная частота изменяется примерно на величину $\Delta\nu_0 = 120$ кГц [6]. На рис. 1 представлены

результаты измерения полосы пропускания ПМР-датчика в процессе передачи и приема, рассчитанный спектр ВЧ-импульса с длительностью $\delta = 10$ мкс, а также рассчитанный диапазон резонансных частот образца, помещенного в зазор магнита при различных температурах. Результаты были получены на приборе измерения релаксации ПМР-NP1 (КГЭУ-2007).

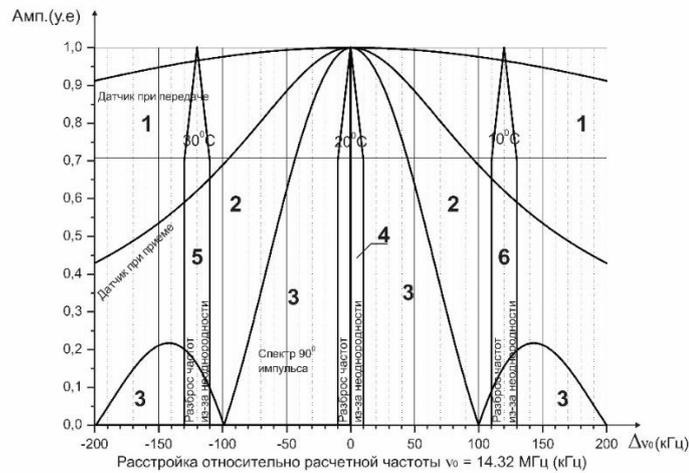


Рис. 1. Расстройка относительной расчетной частоты, кГц

Испытания показали, что изменение плотности магнитного поля в зависимости от температуры является основным фактором, влияющим на точность измерений. Поэтому, помимо внедрения решений для компенсации этих изменений в конструкции приемного тракта прибора измерения релаксации ПМР, необходимо также разработать устройство для стабилизации температуры магнита и образца. Это особенно важно в условиях, когда прибор размещается в местах с значительными температурными колебаниями в течение суток и между сезонами года.

Прототип конструкции устройства для стабилизации температуры магнита и образца представлен в [5]. Недостатками этого устройства являются большие габариты и масса, ограниченная мобильность, не говоря уже о возможности установки температуры для подготовки образца. Разработанное устройство позволяет стабилизировать температуру магнита, одновременно минимизируя разницу температур между образцом и магнитом. Это позволяет размещать релаксометр в любом месте и при любых температурных условиях, сохраняя при этом точность измерений.

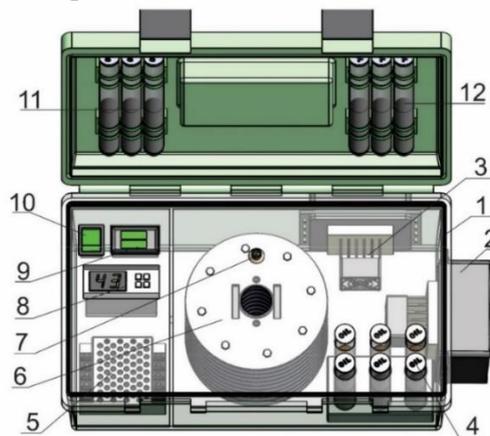


Рис. 2. Конструкция стабилизатора температуры с терморегулятором

На рис. 2 представлена структура устройства. Устройство включает: 1 – корпус ящика; 2, 3 – термоблоки; 4 – пробирка с образцом; 5 – блок питания 12В; 6 – магнит Гальбаха и

датчик ПМР; 7 – разъем для подключения датчика ПМР к релаксометру; 8 – контроллер и установка температуры; 9 – вольтметр и амперметр; 10 – выключатель питания; 11, 12 – запасные пробирки.

Устройство установлено в переносной пластиковый ящик 1, изготовленный из высококачественного ПВХ, выдерживающий нагрузку до 20 кг. Внутренний объем ящика разделен на два изолированных отсека, в большем из которых размещены магнит 6, тепловые блоки 2, 3 и пробирка с образцом 4. Термоблок для охлаждения 2 и нагрева 3 изготовлены на основе термоэлектрических модулей, использующих эффект Пельтье. В зависимости от функции термоблока (нагрев или охлаждение) используются различные алюминиевые теплоотводящие пластины. Для термоблока нагрева (или охлаждения) горячая (или холодная) сторона термоэлектрического модуля оснащена небольшой алюминиевой теплоотводящей пластиной и небольшим вентилятором, а холодная (или горячая) сторона модуля – большой алюминиевой теплоотводящей пластиной и большим вентилятором для повышения эффективности работы термоэлектрического модуля. Небольшие вентиляторы обеспечивают циркуляцию воздуха в качестве теплоносителя для нагрева или охлаждения устройств в большом отсеке ящика 1.

Результаты

Разработанное устройство имеет габаритные размеры 435×250×180 мм, общий вес не более 9 кг (включая магнит). Эксперименты показали, что время переключения между фазами охлаждения и нагрева устройства составляет 96 секунд. Время, необходимое для достижения теплового равновесия между магнитом и образцом от комнатной температуры 19,3 °С до 30 ± 0,5 °С, составляет 16 минут 40 секунд. Потребляемый ток устройства достигает максимума около 4,3 А в момент подачи питания на термоэлектрический модуль и постепенно снижается до отключения. Устройство имеет преимущества, такие как быстрая стабилизация температуры, масса небольшая, долговечная работа термоэлектрических модулей, отсутствие износа, отсутствие движущихся частей, а также отсутствие использования химических хладагентов, что делает его безопасным для здоровья и окружающей среды. Уровень шума устройства во время работы находится в пределах 50–55 дБ.

Заключение

Стабилизатор температуры для магнита и образца с терморегулятором является важной инновацией, позволяющей повысить точность измерений и анализов на основе параметров релаксации ПМР. Целью исследования является разработка устройства, позволяющего устранить разницу температур между магнитом и образцом и окружающей средой. Результаты были достигнуты путем применения метода регулирования температуры с использованием технологии термоэлектрического модуля. Устройство работает стабильно, экономит энергию, имеет мало механических движущихся частей и не использует летучие охлаждающие жидкости. Оборудование пригодно для установки в лабораторных условиях или полевых испытаний.

Список литературы

1. Кашаев Р.С., Темников А.Н., Тунг Ч.В., Киен Н.Т., Козелков О. Релаксометр протонного магнитного резонанса // Приборы и техника эксперимента. – 2019. – № 2. – С.145–148.
2. Кашаев Р.С., Сунцов И.А., Киен Н.Т., Усачев А.Е., Козелков О.В. Экспресс-метод и аппаратура протонного магнитного резонанса для измерения плотности нефтей // Журнал прикладной спектроскопии. – 2019. – Т.86, № 2. – С.263–268.
3. Gultekin D.H., Gore J.C. Temperature dependence of nuclear magnetization and relaxation // J Magn Reson. – 2005. Vol. 172. – P. 133–41.
4. Ramsey N.F. Magnetic shielding of nuclei in molecules // Phys. Rev. – Vol. 78. – P. 699–703.
5. Патент РФ №137355U1. Устройство термостатирования магнита с образцом / Р.С. Кашаев. Заявлено 25.09.2013; Опубл.10.02.2014, Бюл. № 4. – 31 с.

Исследование зависимости сопротивления толстых пленок от шероховатости при аддитивной технологии изготовления

Н.С. Нефедов, В.А. Сокурэнко

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

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

E-mail: nefedovn2@mail.ru

Investigation of the dependence of the resistance of thick films on roughness in additive manufacturing technology

N.S. Nefedov, V.A. Sokurenko

Scientific supervisor: Ass. Prof., Ph.D. S.A. Artishchev

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

E-mail: nefedovn2@mail.ru

Abstract. This article presents the results of resistance calculations for resistive and conductive films with various thickness deviations due to roughness. The results of this work will be used for further modeling of film behavior in future work.

Key words: Polygon, optimal clearances, micro-dimensions.

Введение

Существует аддитивная технология производства толстых плёнок, основанная на нанесении функциональных паст на диэлектрическую подложку [1]. Данный метод позволяет существенно сократить время изготовления печатных узлов, однако обладает определёнными ограничениями, связанными с формированием полигонов.

В процессе изготовления сплошных функциональных резистивных, проводящих и диэлектрических полигонов методом печати появляются дополнительные микронеровности, которые можно считать, как шероховатость на поверхности пленки. Микронеровности, представленные на рис. 1 при осуществлении печати в несколько проходов, приводят к нарушению равномерности толщины пленки, а также изменению их электрофизических характеристик. Поэтому одной из ключевых технологических задач является обеспечение равномерности наносимых пленок с заданными электрофизическими параметрами.

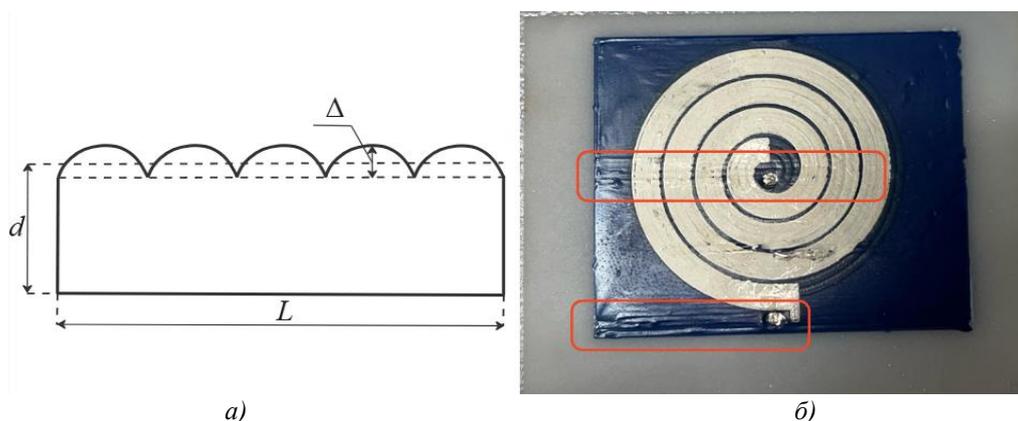


Рис. 1. Пример структуры микронеровности при печати (а) и пример неровностей после печати (б): d – средняя толщина пленки, L – длина проводника, Δ – амплитуда отклонения толщины из-за шероховатости

Для этого необходимо учитывать свойства растекания паст при их экструзии на подложку, объем дозируемой пасты, а также определение оптимальных зазоров по траектории

движения дозатора при заполнении полигонов. Целью работы является оценочное моделирование зависимости сопротивления резистивной и проводящей пленки от величины микронеровности.

Экспериментальная часть

В основу моделирования был взят метод [2], позволяющий оценить изменение сопротивления пленки от величины вносимых микронеровностей через шероховатость резистивного слоя. Было выбрано условие, что высота вносимой микронеровности при движении дозатора имеет равномерное распределение, как и естественная шероховатость на поверхности пленки. Распределение толщины пленки H с учетом равномерного распределения вносимой микронеровности можно определить по следующей формуле:

$$H = d + \xi, \quad f(\xi) = \begin{cases} 1/2, & \xi \in [d - \Delta, d + \Delta] \\ 0, & \xi \notin [d - \Delta, d + \Delta] \end{cases}$$

где ξ – случайная величина, описывающая локальную толщину пленки, d – средняя (номинальная) толщина пленки, Δ – амплитуда отклонения толщины из-за шероховатости ($0 < \Delta < d$).

Расчет сопротивления полигона выглядит:

$$R = R_0 \frac{d}{2\Delta} \ln \frac{d + \Delta}{d - \Delta}$$

где R – полное сопротивление пленки; R_0 – сопротивление идеально гладкой пленки.

Сопротивление идеально гладкой пленки рассчитано с помощью выражения:

$$R_0 = \rho_s \frac{2a}{bd}$$

где ρ_s – поверхностное сопротивление, a – длина полигона, b – ширина полигона.

Для того, чтобы учесть шероховатость пленки, представленное ранее выражение было разложено в ряд Тейлора (Маклорена) по малому параметру Δ/d .

$$R = R_0 \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta}{d} \right)^2 + \frac{1}{5} \left(\frac{\Delta}{d} \right)^4 + \frac{1}{7} \left(\frac{\Delta}{d} \right)^6 + \frac{1}{9} \left(\frac{\Delta}{d} \right)^8 + \frac{1}{11} \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{10} \right)$$

Полученное разложение для сопротивления пленки, учитывающее шероховатость границ, получено из логарифмических зависимостей, возникающих при расчете эффективного сопротивления слоя с неровностями [3].

Проведение расчетов сопротивления проводилось для двух видов толсто пленочных пленок: резистивных и проводящих. Данные для вычислений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры пленок для расчета сопротивления

Параметр	Резистивная пленка	Проводящая пленка
Ширина пленки b , мм		,5
Средняя толщина пленки d , мкм	20	20
Длина пленки a , мм	3	3
Поверхностное сопротивление ρ_s , Ом/кв	50	0,01

Результаты

Изменение амплитуды отклонения толщины из-за шероховатости Δ было выбрано в диапазоне 2–10 мкм, так как при этом значении неровность становится критичной – половина дорожки не пропечатана. График зависимости сопротивления R от амплитуды отклонения толщины шероховатости Δ для толстых резистивных и проводящих пленок представлен на рис. 2.

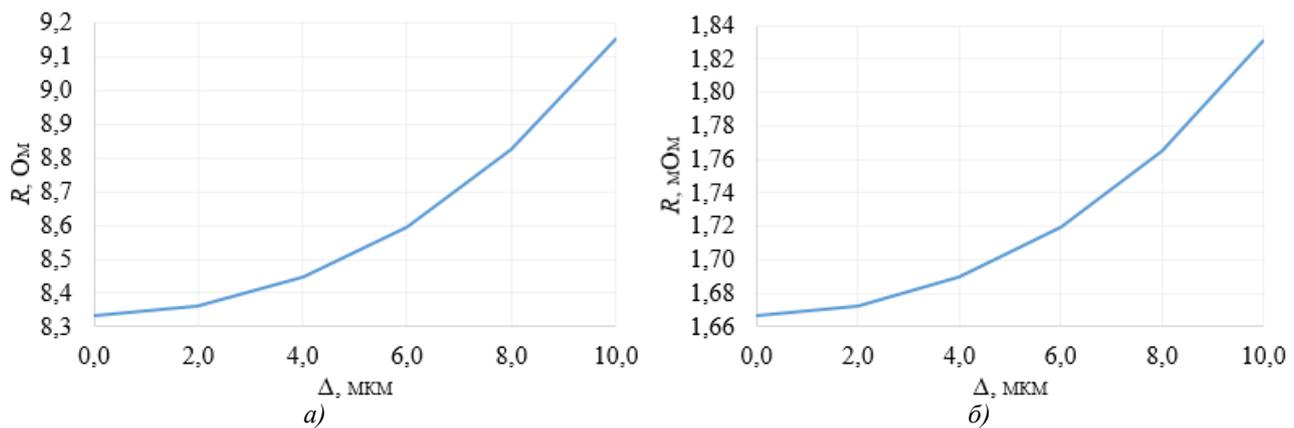


Рис. 2. График зависимости сопротивления R от амплитуды отклонения шероховатости Δ для толстой резистивной (а) и толстой проводящей (б) пленок

Изменение микронеровности в диапазоне 2–10 мкм при толщине пленки $d = 20$ мкм приводит к изменению сопротивления от 0,3 % до 10 % для резистивной пленки и проводящих пленок.

Заключение

Рекомендуемое отклонение от средней толщины пленки предлагается не более 4 мкм, так как это обеспечивает наиболее близкий результат к разрабатываемой структуре. Для подтверждения полученных оценочных результатов, в дальнейших работах планируется учесть физические закономерности растекания пасты при выводе формулы для расчета сопротивления. Учитывая положение дозатора в каждой точке, будет разработана модель в COMSOL Multiphysics, которая, исходя из свойств пасты и положения дозатора, позволит оценить равномерность нанесенного слоя, а также провести последующий анализ электрофизических характеристик и шероховатости.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, госзадание № FEWM-2025-0003.

Список литературы

1. Труфанова Н.С., Труфанова А.С. Исследование возможности изготовления планарных компонентов методом принтерной печати // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2021. – № 1–1. – С. 162–164.
2. Харитонов Е.В. Диэлектрические материалы с неоднородной структурой. – М.: Радио и связь, 1983. – 128 с.
3. Бочкарев Б.А., Бочкарева В.А. Керметные пленки. – Л.: Энергия. Ленигр. Отд-ние, 1975. – 152 с.

УДК 533.537.9

**Структура поверхности циркониевой керамики после обработки импульсным
электронным пучком в форвакуумной области давлений**

А.Е. Петров, В.Е. Аркатов, А.В. Казаков

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

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

E-mail: a.e.petrov_job@mail.ru

**Surface structure of zirconium ceramics after treatment by a pulsed electron beam
in forevacuum pressure range**

A.E. Petrov, V.E. Arkatov, A.V. Kazakov

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

E-mail: a.e.petrov_job@mail.ru

***Abstract.** The present study investigates the effects of low-energy electron pulses on the surface structure of zirconium dioxide ceramics. It is demonstrated that the processing outcome is contingent on the beam energy density of the pulse. When the energy exceeds 8 J/cm², a 'columnar' structure several micrometers in thickness is formed in the near-surface layer of the ceramics, and the irradiated surface becomes black.*

***Key words:** zirconium ceramics, surface structure, pulse treatment.*

Введение

Создание новых биокompозитных материалов для регенерации структуры поврежденных костных тканей является одной из важнейших задач в области травматологии и ортопедии. Материалы, используемые для данных задач, выполняются из различных сплавов металлов и биокompозитных материалов, к примеру, диоксид циркония. Изделия из диоксида циркония имеют выдающиеся механические свойства, являются биосовместимыми и гипоаллергенными. Однако на клинический результат могут влиять множество факторов, от химии самого материала и геометрии имплантата до структуры поверхности имплантата на микро и нано уровне [1]. Таким образом, задача по обработке поверхности диоксида циркония и придания ей определенной морфологии является одним из факторов успешной остеоинтеграции.

Известные методы обработки поверхности имплантатов, практически не отличаются для титановых или диоксид циркониевых изделий, и включают в себя пескоструйную обработку и кислотное травление. Однако в результате такой химической и механической обработки диоксид циркония совершает фазовый переход из тетрагональной в моноклинную структуру, что приводит к уменьшению его механической прочности [2]. Для сохранения высоких прочностных характеристик требуется обработка поверхности диоксида циркония такими методами, которые не вызовут фазовых превращений. Одним из таких методов может являться обработка импульсным ионными и электронными пучками. В работе [3] продемонстрировано успешное применение форвакуумных плазменных источников в задачах обработки различных керамик. При этом настроив определенный режим электронно-лучевой обработки, возможно получение микрошероховатости на поверхности диоксида циркония и создание тонкого, порядка десятков микрометров, пористого слоя [4].

Цель работы заключалась в исследовании влияния импульсной обработки в форвакуумной области давлений на поверхность керамики из диоксида циркония.

Экспериментальная часть

Образцы керамики – представляли собой спеченные диски диаметром 12 мм и высотой 4 мм, выполненные из материала TZ-3YSB-E компании TOSOH, Япония. Образцы спекались

в два этапа, на первом этапе температура спекания была 1100 °С, образы выдерживались на данной температуре в течении 2 часов. Вторым этапом спекания было нагревание до температуры 1500 градусов с выдержкой 2 часа, данный этап формирует тетрагональную фазу диоксида циркония и доводит плотность образцов до значений 6,05 г/см³.

Обработка керамических образцов осуществлялась импульсным электронным пучком (рис. 1), генерируемым форвакуумным плазменным источником электронов [5]. Образцы размещались в вакуумной камере в танталовых тиглях, которые были установлены на системе перемещения, что позволяло обрабатывать несколько образцов за один цикл откачки вакуумной камеры. Давление газа (азот) в вакуумной камере составляло 8 Па. Ток I_b пучка определялся током I_e эмиссии (ток пучка меньше тока эмиссии на 30 %), величина которого достигала 80 А, ускоряющее напряжение U_a составляло 8–9 кВ, длительность импульса τ_d варьировалась от 50 до 600 мкс. Обработка керамического образца осуществлялась серией импульсов (5 импульсов) при частоте следования импульсов 0,5 Гц. Обработанная поверхность керамики исследовалась с помощью растрового электронного микроскопа Hitachi TM1000.

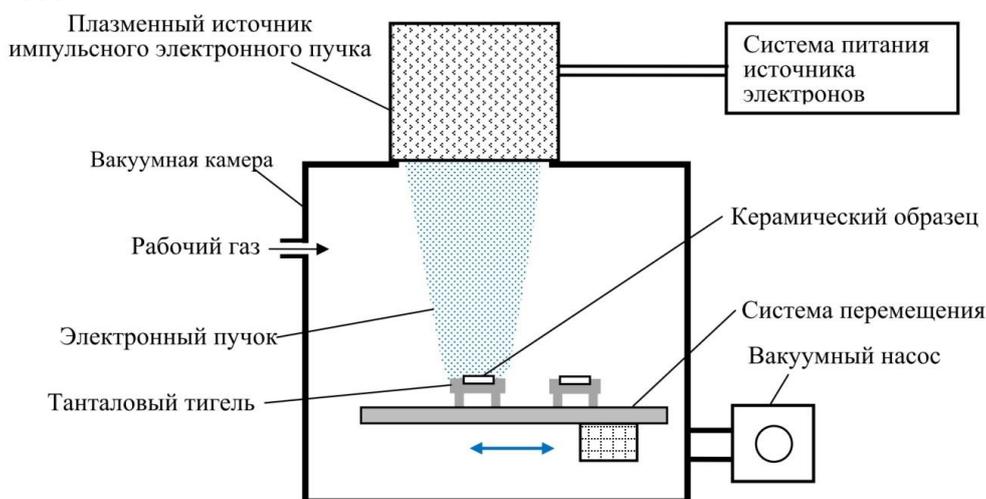


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Результаты

Обработка циркониевой керамики импульсным электронным пучком приводит к заметным изменениям структуры поверхности при мощности P_p электронного пучка в импульсе не менее 340 кВт/имп. Характер же изменений зависит от плотности энергии пучка в импульсе J_p . При плотности энергии J_p пучка более 7,5–8 Дж/см² поверхность после обработки приобретает черный цвет. Исследования поперечных сколов образцов показали, что у почерневших образцов формируется слой со столбчатой структурой (рис. 2, а). Толщина этого слоя h увеличивается по мере роста плотности энергии J_p электронного пучка в импульсе (рис. 2, б). Подобный эффект образования «столбчатой» структуры наблюдается после облучения керамики из оксида алюминия импульсным потоком ионов углерода с гораздо большей энергией – 200 кэВ, плотностью тока 50 А/см² и плотностью энергии 1 Дж/см² [6]. Однако повышение плотности тока или плотности энергии ионного пучка описанное в работе [6] наоборот приводило к исчезновению такой структуры. В работе предположили, что исчезновение «столбчатой» структуры связано с высокими скоростями нагрева материала, в результате чего материал не успевает остыть и рекристаллизоваться в промежутке времени между импульсами. В настоящем исследовании, очевидно, нагрев и остывание происходит за гораздо большие времена и эффект сохраняется даже с повышением мощности.

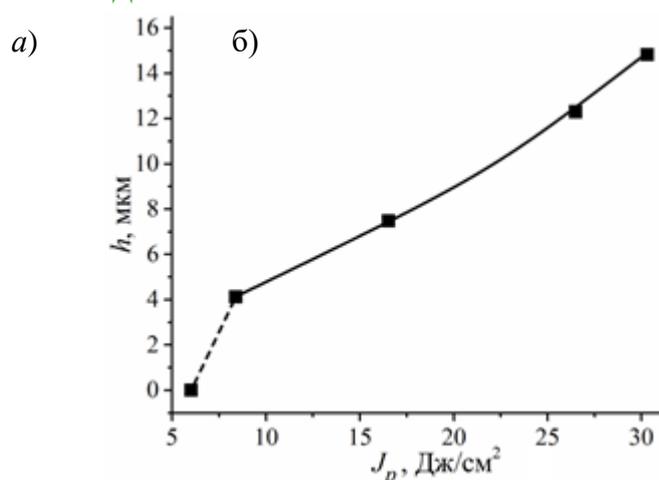
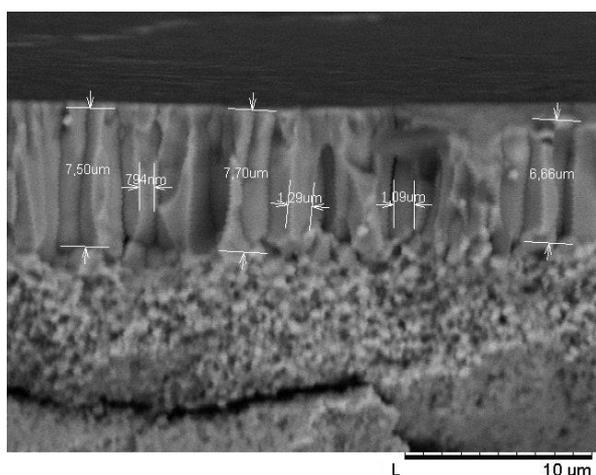


Рис. 2. Поперечный скол керамики, увеличение в 6000 раз (а);
Зависимость толщины h слоя от плотности энергии в импульсе (б)

Заключение

В результате проведенных исследований показано, что обработка керамики на основе диоксида циркония стабилизированного оксидом иттрия с помощью импульсного электронного пучка приводит к формированию «столбчатой» структуры в приповерхностном слое. Толщина структуры определяется плотностью энергии пучка в импульсе и формируется при превышении плотности энергии 8 Дж/см². Образование структуры связано с быстрым процессом нагрева и остывания поверхности при импульсной обработке.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках конкурса FEWM-2024-0006.

Список литературы

1. Akagawa Y., Ichikawa Y., Nikai H., Tsuru H. Interface histology of unloaded and early loaded partially stabilized zirconia endosseous implant in initial bone healing // Journal of Prosthetic Dentistry – 1993. – Vol. 69. – P. 599–604.
2. Anil S., Anand P.S., Alghamdi H., Jansen J.A. Dental Implant Surface Enhancement and Osseointegration. Implant Dentistry: A Rapidly Evolving Practice // Implant Dent. – 2011. – P. 83–108.
3. Quentin F, Marc A. Hydrofluoric acid etching of dental zirconia. Part 2: effect on flexural strength and ageing behavior // Journal of the European Ceramic Society. – 2016. – Vol. 36. – P. 135–145.
4. Petrov A.E., Bakeev I.Yu., Zenin A.A., Klimov A.S. Effect of electron beam treatment of composite ATZ and TZP ceramics on surface topography and reaction of osteoblast-like cells // J. Surf. Investig. – 2024. – Vol. 18, № 6. – P. 1656–1661.
5. Kazakov A.V., Medovnik A.V., Oks E.M., Panchenko N.A. Broad-beam plasma-cathode electron beam source based on a cathodic arc for beam generation over a wide pulse-width range // Review of Scientific Instruments. – 2020. – Vol. 91. – Art. № 093304.
6. Ghyngazov S.A., Boltueva V.A. Modification of the structure and mechanical properties of oxide ceramics by ion treatment // Bulletin of the Siberian State Industrial University. – 2022. – № 2. – P. 28–39.

Автоматизированное выявление признаков шизофрении и депрессии по аудиозаписи интервью с пациентом

А.Д. Псарев, У.В. Савина, Д.А. Петкун

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634034

E-mail: pad@fb.tusur.ru

Biocomposites for bone tissue regeneration

A.D. Psarev, U.V. Savina, D.A. Petkun

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. E.Y. Kostyuchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634034

E-mail: pad@fb.tusur.ru

Abstract. *This article discusses the prospects of creating a diagnostic module for the diagnosis of schizophrenia and depression based on an audio recording of an interview with a patient. It also describes the collection of dataset for training the model and the difficulties in preprocessing real data.*

Key words: *neural network, depression, schizophrenia, diagnosis.*

Введение

Психические расстройства, такие как шизофрения и депрессия, затрагивают сотни миллионов людей в мире, однако их диагностика остается сложной из-за субъективности клинических методов. Традиционные подходы, основанные на интервью и анкетах, не всегда обеспечивают точность, особенно при дефиците специалистов.

Технологии искусственного интеллекта (ИИ) предлагают новые пути анализа устной речи – одного из ключевых маркеров психического состояния человека. Например, нейросетевая модель MIT выявляет депрессию по снижению эмоциональной окраски речи [1], а исследование 2023 года демонстрирует, что ИИ распознает шизофрению через нарушения логики и семантические аномалии в высказываниях [2].

Актуальность таких решений растет на фоне увеличения психических расстройств после пандемии COVID-19. ИИ анализирует отклонения в интонации, синтаксисе и лексике, что ускоряет диагностику и позволяет объективно оценивать динамику состояния пациента.

Практикующие врачи, занимающиеся клинической диагностикой данных заболеваний, выражают заинтересованность в создании диагностического (либо дифференциально-диагностического) модуля, позволяющего оказывать автоматизированную помощь при обследовании пациентов. На фоне этого, совместно с НИИ психического здоровья, ведётся работа по созданию такого продукта.

Экспериментальная часть

Одним из основных признаков как у шизофрении, так и у депрессии, выступают аномалии в проявлении и частоте смены эмоций. Первоначально была проведена работа по поиску подходящих наборов данных. В табл. 1 представлены рассмотренные наборы данных для определения эмоций по устной речи.

При выборе датасета для обучения датасета необходимо выбирать набор данных на том же языке, на котором будет проходить интервью с пациентом. Это связано с особенностями различных языков и культур народов, разговаривающих на этих языках. Также для преобразования речи в текст и дальнейшего анализа модель должна быть обучена для работы с тем языком, на котором будет разговаривать пациент.

Наборы данных для определения эмоций по устной речи

Название	Язык	Описание
DUSHA	Русский	Записи обращений пользователей к голосовому помощнику “Салют”
RESD	Русский	Речь актёров, семь категорий эмоций
IEMOCAP	Английский	Десять актёров разного пола, три категории эмоций – “негативная”, “позитивная” и “нейтральная”
SAVEE	Английский	Четверо актёров-мужчин, семь категорий эмоций
EMOVOME	Испанский	Сто испаноговорящих спикеров,

Отсутствие в свободном доступе наборов данных с записью речи пациентов обусловлена юридическими трудностями с систематическим сбором, обработкой и распространением речи пациентов, являющейся персональными данными.

Так как подходящих наборов данных не обнаружено, было принято решение подготовить для обучения модели свой. По плану набор данных должен включать в себя записи интервью около шестидесяти человек: здоровых, с диагностированной депрессией и шизофренией, в соотношении 1:1:1.

Благодаря сотрудничеству с НИИ психического здоровья имеется возможность проводить записи с участием как заведомо здоровых, так и пациентов с подтверждёнными диагнозами.

На данный момент выполняется сбор данных путём аудиозаписи интервью лечащего врача с пациентом с использованием оценочных шкал GRID-HAMD и PANSS [3, 4]. В ходе интервью с использованием этих оценочных шкал, лечащий врач ведёт беседу с пациентом, задавая наводящие вопросы по имеющимся в оценочной шкале темам, оценивая и протоколируя реакции пациента.

На рис. 1 представлены примеры мел-спектрограммы для двух фрагментов разных интервью.

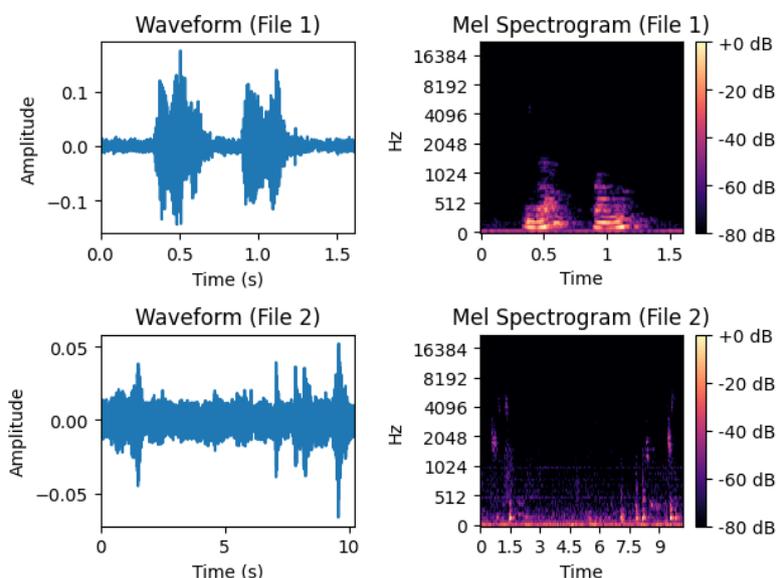


Рис. 1. Мел-спектрограммы для двух фрагментов записей

Представленные на рисунке мел-спектрограммы аудиодорожек наглядно показывают, что речь пациента может быть, как чётко узнаваема на фоне шума (File 1), так и слабо различима на фоне шума (File 2). Второй вариант требует особого подхода к предобработке, так как слабая различимость речи становится критичной для преобразования речи в текст для дальнейшего анализа.

Результаты

При анализе и предобработке уже полученных записей интервью были выявлены следующие проблемы, требующие решения:

- разделение речи лечащего врача и речи пациента на записи - речь лечащего врача, заведомо считающегося здоровым человеком, будет искажать общую картину интонаций, эмоций и частоты их изменения в речи на записи;
- речь некоторых пациентов, страдающих шизофренией или депрессией, очень тихая, и теряется на фоне речи лечащего врача и фоновых шумов, что создаёт трудности в анализе качественных характеристик и в преобразовании речи в текст.

Несмотря на тривиальность задач в общем виде, поиск универсального решения осложняется частными случаями - такие факторы, как особенности используемого при записи микрофона, фоновый шум, громкость речи пациента относительно громкости шума и речи врача.

Заключение

В результате проведенных исследований можно заключить, что использование средств искусственного интеллекта для помощи лечащему врачу в диагностики шизофрении и депрессии является перспективным направлением, однако, требующим особого подхода к обработке аудиоданных.

Список литературы

1. Model can more naturally detect depression in conversations // Massachusetts Institute of Technology: сайт. – 2024. – URL: <https://news.mit.edu/2018/neural-network-model-detect-depression-conversations-0830> (дата обращения: 17.03.2025).
2. AI language models could help diagnose schizophrenia // Medical Xpress: сайт. – 2024. – URL: <https://medicalxpress.com/news/2023-10-ai-language-schizophrenia.html> (дата обращения: 17.03.2025).
3. Williams J., Kobak K., Bech P., Engelhardt N., Evans K., Lipsitz J., Olin J., Pearson J., Kalali A. The GRID-HAMD: standardization of the Hamilton Depression Rating Scale – Текст : электронный // International Clinical Psychopharmacology. – 2024. – № 23. – URL: https://www.researchgate.net/publication/5443233_The_GRID-HAMD_Standardization_of_the_Hamilton_depression_rating_scale (дата обращения: 17.03.2025).
4. Шкала PANSS – описание // ОФИЦИАЛЬНЫЙ САЙТ ФГБНУ НЦПЗ: сайт. – 2024. – URL: <https://ncpz.ru/stat/78> (дата обращения: 17.03.2025).

Colibri field data bus Server: dynamic GUI generation and scalable virtual emulation for HART/Colibri devices

R.V. Pushkarskiy^{1,2}, V.A. Belski^{1,2}

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.G. Goryunov²

¹ASPECT LLC, Russia, Tomsk, 37 Saltykova-Shchedrin str., office 18, 634021

²Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: rvp6@tpu.ru, vab59@tpu.ru

Abstract. *To solve the problem of supporting intelligent sensors manufactured in the Russian Federation by foreign software, Aspect LLC has developed a “Colibri field data bus Server” software, which supports HART devices and Colibri field data bus devices. “Colibri field data bus Server” works with intelligent sensors and their electronic descriptions.*

Key words: HART, CDD, Colibri, EDD, EDDL, Qt Framework.

Introduction

Aspect LLC has developed a “Colibri field data bus Server” (hereinafter referred to as Colibri software), which provides a user interface for interaction of automated process control and monitoring systems with intelligent field devices manufactured both in Russia and in foreign countries. Software supports end-to-end control and diagnostics of field equipment based on the Colibri and HART protocols [1, 2].

Software has passed bench tests for the compatibility of the Colibri protocol with instrumentation and control equipment using HART technology. Compatibility tests with most popular industrial software and hardware used at facilities (Kaspersky Industrial Cybersecurity, АВАК PLC, Regul PLC, zVirt, Cyberbackup and others) [3]. There are two important tasks in development of graphical user interface (GUI) for this kind of software: firstly, it is necessary to create a dynamic user interface suitable for any field device in the industry and secondly, it is necessary to create a dynamic representation of the enterprise structure capable of displaying a large number of field devices.

GUI Creation in Colibri software

For remote configuration and management of intelligent sensors and automation equipment, it is necessary to use colibri device descriptions (CDDs), which are unique to each device model and contain the structure and variables of field device’s menu [2], while the configuration environment itself must be universal. So, the first objective is to develop an engine to create universal dynamic user interface, automatically generated at the moment of interpreting the electronic description, which differs from existing solutions by its ability to adapt to any device's electronic description.

This objective was achieved by developing an engine dynamic GUI creation. Fig. 1 shows a diagram of creating a user interface for intelligent sensor. The engine goes through all the menu elements and builds certain GUI structure for different types of CDD elements during CDD interpretation: the variables are input fields, methods are buttons that call certain commands, and built-in functions are dialog windows with input fields or buttons that require user interaction.

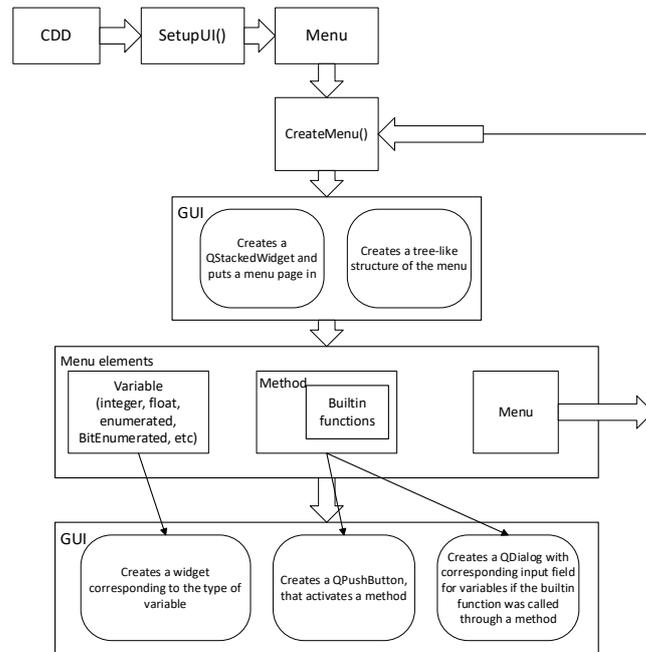


Fig. 1. A detailed diagram of GUI creation

For the second task, it is necessary to create a dynamic representation of the enterprise structure capable of displaying a large number of field devices, with support for grouping, sorting, and editing. This was achieved through QTreeWidget and JSON files that store a tree structure [4]. Work is underway to implement several structure representations options, providing users the ability to save and utilize customized device trees that are most convenient for them. In the Fig. 2 an example of such tree is presented. Each element of the tree is draggable, and could be moved into folders that are created by user. In the Fig. 2 such folders are «АБАК ПЛК», «Новые устройства», «Regul R500», «Samson». The number of nested folders is not limited in the current type of enterprise representation.

Имя	Тип устройства	Адрес	CDD	Устройство ВВ	Статус	OPC-ter	Ter	Длинный ter
Канал 0	ДМ5017 [ОАО «Ман...	05-75-12-13-14	8575_77_auto	tyhart1_COLIBRI		tyhart1_COLIBRI_Cha...		
Канал 1	3051 [Rosemount]	26-06-66-ef-0c	2606_2_auto	tyhart1_COLIBRI		tyhart1_COLIBRI_Cha...		
Канал 2	ИДК-10	23-b1-00-5b-a7	E3B1_c9_auto	tyhart1_COLIBRI		tyhart1_COLIBRI_Cha...		
Канал 3	СДВ-SMART [НПК ВИ...	23-ce-00-00-05	E3CE_12_auto	tyhart1_COLIBRI		tyhart1_COLIBRI_Cha...		
Канал 4	ДГС [ГК «ЭРИС»]	23-ae-03-60-0d	E3AE_3e_auto	tyhart1_COLIBRI		tyhart1_COLIBRI_Cha...		
Канал 5	Advant2 [ГК «ЭРИС»]	23-aa-03-5c-14	E3AA_3e_auto	tyhart1_COLIBRI		tyhart1_COLIBRI_Cha...		
Канал 6	5300 Series Guided W...	26-51-07-d9-07	2651_1_auto	tyhart1_COLIBRI		tyhart1_COLIBRI_Cha...		
Канал 7	ИГМ-13М [Грунна Ко...	32-60-00-0c-84	F260_1_auto	tyhart1_COLIBRI		tyhart1_COLIBRI_Cha...		

Fig. 2. Enterprise structure

However, the number of field devices at a real facility may reach thousands or even tens of thousands; therefore, it is crucial to conduct load testing of the proposed dynamic structure. To address this need, a Virtual Emulator for HART / Colibri field devices has been developed based on a server cluster with HART-IP support.

Experiment

To verify the performance and stability of the host monitoring and diagnostics system for field devices supporting HART / Colibri protocols under heavy load conditions (diagnostics of 4096 field devices) without using real instrumentation, a virtual emulator was developed. This emulator supports configurable imitation of response delays from field devices.

Virtual field devices support universal commands of HART / Colibri protocols and are grouped (up to 64 devices per group) to simulate a PLC input-output module or HART multiplexer. For virtual field devices, users can set the extended device type and software version, while the polling address and unique device address are generated automatically.

To simultaneously process requests from the host system, each emulated module functions as an independent server with HART-IP, which the host system connects to. To simulate a large number of modules, a software application with a GUI, called Virtual Unit, was developed for configuring the emulated modules and managing the server cluster (start and stop operations). The server cluster fully utilizes all CPU cores of the computer, enabling testing of the host system with simultaneous connections to a large number of field devices using a single Linux-based computer.

Using this emulator, it was possible to simulate 8192 devices and verify software stability under this load. Stress test included continuous software operation for three days. During the test, Colibri software worked without any failures. Currently, it is planned to increase the number of simulated devices to sixteen thousand to verify software reliability.

Conclusion

Colibri software is field device monitoring and diagnostics system, that supports dynamic generation of universal GUI based on interpreting Colibri Device Descriptions (CDDs). This technology allows automatic adaptation of interfaces for any intelligent sensor or field device, making configuration and management processes quicker and easier.

A customizable representation of enterprise structures has been developed, allowing for convenient visualization, grouping, sorting, and editing of large numbers of field devices.

To evaluate Colibri software performance under realistic heavy-load scenarios, a specialized virtual emulator based on a server cluster with HART-IP support was created. This emulator can simulate response delays and handle simultaneous connections of thousands of virtual field devices, which allows to conduct stress testing without the need for connecting physical hardware.

Stability tests demonstrated that Colibri software could reliably manage simultaneous interactions with up to 8,192 virtual field devices for an extended period (three consecutive days), without failures or performance degradation. Ongoing development aims to further validate scalability by expanding simulation capacity to 16,000 devices.

References

1. ПШПД Колибри // ООО "Аспект": Разработка цифровых измерительных систем. – URL: <https://digitalmetrolog.com/ru/colibri> (accessed: 20.02.2025).
2. ОТЗ-06.01.15.2024 Полевая шина передачи данных Колибри // ИНТИ. – URL: <https://inti.expert/docs/industrial%20automation/otz-06-01-15-2024/> (accessed: 20.02.2025).
3. Документы о совместимости // ООО "Аспект": Разработка цифровых измерительных систем. – URL: <https://digitalmetrolog.com/documents> (accessed: 20.02.2025).
4. Qt Documentation | Home // Qt Documentation. – URL: <https://doc.qt.io/> (accessed: 10.03.2025).

Совмещение DWG-файлов и системы NanoCAD

И.И. Рак, Я.В. Зайченко, Р.О. Леонтьев

Научный руководитель: М.А. Крайнов

Томский государственный архитектурно-строительный университет

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

E-mail: rakilya900@gmail.com

Alignment of DWG-files and NanoCAD system

I.I. Rak, Ya.V. Zaychenko, R.O. Leontiev

Scientific Supervisor: M.A. Kraynov

Tomsk State University Architecture and Building, Russia, Tomsk, Solyanaya str., 2, 634003

E-mail: rakilya900@gmail.com

Abstract. *In this technical study the reasons for and solution to the problem related to the support and opening of DWG files in NanoCAD software, a widely used computer-aided design system in Russia, have been established. DWG - files for storing information in two-dimensional and three-dimensional models, which can be used in the work of computer-aided design systems. However, due to certain features of files of this type, some users can not use the models in this CAD system. The solution to this problem is implemented in the form of Python code, which can be integrated into the NanoCAD environment.*

Key words: *NanoCAD, DWG-files, Python.*

Введение

Двухмерные и трёхмерные модели – основной элемент в проектировании инженерных сооружений и зданий. Проблема несовместимости DWG-файлов, созданных в разных версиях зарубежных систем авто проектирования заключается в повреждении таких файлов и последующей сложности их восстановления. Также можно отметить отсутствие открытых и универсальных инструментов для обработки DWG-файлов. Целью работы является разработка программного решения на основе анализа структуры DWG-файлов, которое может позволить: 1) Автоматически определять версию DWG-файла; 2) Конвертировать файлы в совместимый формат для NanoCAD; 3) Восстанавливать поврежденные файлы; 4) Осуществить интеграцию открытых библиотек и разработанных собственных алгоритмов для работы с CAD-форматами. Решение данной проблемы в виде инструкции к выполнению действий уже расписано в электронном ресурсе [1], однако реализация открытия в виде вложенного сценария по-прежнему остаётся актуальной, так как позволяет экономить время. В настоящее время существуют алгоритмы и скрипты для реализации открытия таких файлов, идеи которых послужили основой для настоящей работы [2, 3].

Экспериментальная часть.

На языке Python реализован сценарий совмещения DWG-файлов с системой NanoCAD, который состоит из следующих этапов: 1) Настройка логирования (формирование текстовых файлов с важной технической информации о работе программы) и печати сообщения; 2) Подключение к NanoCAD через COM API; 3) Открытие DWG-файлов в NanoCAD; 4) Попытка восстановления DWG-файла с использованием соответствующей команды; 5) Сохранение исправленного файла; 6) Закрытие NanoCAD.

На рис. 1 представлен процесс подключения библиотек и реализации работы первых функций.

```
import os
import win32com.client
import logging

# Настройка логирования
logging.basicConfig(
    filename='nanocad_dwg_repair.log',
    level=logging.DEBUG,
    format='%(asctime)s - %(levelname)s - %(message)s'
)

def log_and_print(message):
    """Функция для логирования и печати сообщений"""
    logging.info(message)
    print(message)

def connect_to_nanocad():
    """Подключение к NanoCAD через COM API"""
    try:
        nanocad = win32com.client.Dispatch("NanoCAD.Application")
        nanocad.Visible = True # Открытие NanoCAD в видимом режиме
        log_and_print("Подключение к NanoCAD успешно установлено.")
        return nanocad
```

Рис. 1. Фрагмент кода (процесс открытия)

Процесс восстановления и сохранения исправленного DWG-файла изображено на рис. 2.

```
def recover_and_fix_dwg(nanocad, document):
    """Попытка восстановления DWG файла с использованием команды RECOVER"""
    try:
        log_and_print("Попытка восстановления файла с использованием команды RECOVER.")
        # Отправляем команду RECOVER для попытки исправления ошибок в файле
        nanocad.ActiveDocument.SendCommand('RECOVER\n')
        log_and_print("Файл успешно восстановлен с использованием команды RECOVER.")
    except Exception as e:
        log_and_print(f"Ошибка при выполнении команды RECOVER: {e}")
        raise

def save_dwg_file(document, dwg_file_path):
    """Сохранение исправленного файла"""
    try:
        log_and_print(f"Сохранение файла: {dwg_file_path}")
        document.SaveAs(dwg_file_path)
        log_and_print(f"Файл {dwg_file_path} успешно сохранен.")
    except Exception as e:
        log_and_print(f"Ошибка при сохранении файла {dwg_file_path}: {e}")
        raise
```

Рис. 2. Фрагмент кода (процесс завершения)

Результаты

Проверить работоспособность разработанной программы можно через простой пример, представленный на рис. 3.

```
# Пример использования  
dwg_file = "path_to_your_file.dwg"  
main(dwg_file)
```

Рис. 3. Пример использования

Решение может быть использовано в инженерной практике для работы с файлами DWG в условиях отсутствия лицензионных программ. Разработанный код снижает затраты на программное обеспечение и повышает эффективность работы с CAD-файлами.

Заключение

Предложен вариант реализации открытия DWG-файлов с содержанием информации о 2D и 3D – моделях для системы NanoCAD. Достоинством данного кода считается понятность и простота интеграции для дальнейшего использования для открытия и восстановления повреждённых DWG-файлов.

Список литературы

1. Работа с проблемными *.dwg-файлами в среде nanoCAD // Хабр: сайт. – 2018. – URL: <https://habr.com/ru/companies/nanosoft/articles/347022/> .
2. Использование скриптов на языке Python в Платформе nanoCAD 23 // nanocad.ru: сайт. – 2023. – URL: <https://www.nanocad.ru/press/technical-articles/ispolzovanie-skriptov-na-yazyke-python-v-platfome-nanocad-23/> .
3. Python AutoCAD integration in pywin32 // supplychaindataanalytics.com: сайт. – URL: <https://www.supplychaindataanalytics.com/python-integration-with-autocad-using-pywin32-win32com/> .

УДК 535.4

Подход для подавления эффектов Фабри-Перо в газовой измерительной абсорбционной ячейке, используемой в абсорбционной ТГц спектроскопии.

Экспериментальное исследование

Г.К. Распопин

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Ю.В. Кистенев
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: RaspopinGK@mail.tsu.ru

An approach to suppress Fabry-Perot effects in a gas absorption cell used in THz absorption spectroscopy. Experimental verification

G.K. Raspopin

Scientific Supervisor: Prof., Ph.D. Y.V. Kistenev
Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenina str., 36, 634050
E-mail: RaspopinGK@mail.tsu.ru

***Abstract.** The paper presents experimental verification of the approach for suppressing Fabry-Perot interference effects in a standard single-pass cell used in absorption THz spectroscopy with amplitude modulation (AM). The peculiarity of the approach consists in insertion of an additional external movable optically transparent window in front of the gas measuring cell. The paper briefly describes the content of the developed approach. A comparison of the obtained experimental and theoretically calculated absorption spectra is given. Numerical estimations shows that the insertion of an external movable window allows to significantly reduce the influence of Fabry-Perot effects and increase the accuracy in reconstructing absorption line spectral parameters.*

***Key words:** Amplitude modulation spectroscopy, Fabry-Perot effects, THz gas absorption spectroscopy, destructive interference.*

Введение

В Бугеровской ТГц газовой спектроскопии, регистрируемый детектором сигнал зависит не только от поглощения газовой пробы, но и подвержен влиянию передаточной функции однопроходной измерительной ячейки. При условии, что поперечные размеры измерительной ячейки значительно превосходят длину ТГц волны ($a, b \gg \lambda$), профиль передаточной функции формируется за счет эффектов Фабри-Перо (ФП), т.е. интерференции переотраженных ТГц волн. В таком случае, в направлении распространения ТГц волны спектральные особенности передаточной функции определяются геометрическими и оптическими параметрами отражающих поверхностей (расстояние между оптически прозрачными входным/выходным окнами L , их показатель преломления n и толщина d) [1].

В работе [2] был предложен и численно исследован подход с использованием дополнительного внешнего подвижного оптически прозрачного окна, установленного перед измерительной ячейкой. На примере линии поглощения SO_2 ($\omega_0 = 660$ ГГц) в газовой смеси SO_2 (0,1 %) + NO_2 (99,9 %) при давлении $p = 1$ атм и температуре $T = 293$ К достигнуто практически четырехкратное уменьшение амплитуды интерференционных пиков, а при $p = 10^{-3}$ атм и $T = 293$ К – более чем двукратное уменьшение амплитуды интерференционных пиков по сравнению со стандартной конфигурацией двухоконной однопроходной ячейки (далее по тексту как – стандартная газовая ячейка).

Настоящая работа нацелена на экспериментальное верифицирование предложенного подхода к подавлению эффектов ФП для ТГц спектрометра, работающего в режиме амплитудно-импульсной модуляции.

Экспериментальная часть

Суть предложенного подхода состоит в установке дополнительного внешнего подвижного оптически прозрачного окна перед стандартной измерительной ячейкой (далее по тексту как – газовая ячейка с внешним окном). Смещая внешнее окно в диапазоне λ_{max} для данного частотного диапазона на фиксированный шаг $l \geq \lambda_{min}/2$, записывается спектр $S(\omega, l)$. Результирующий спектр получается вычислением максимальной интенсивности сигнала на каждой частоте ω для данного значения смещения $\max_{l \in \{l_1, \dots, l_n\}} (S(\omega, l))$. Согласно закону Бугера, коэффициент поглощения $\alpha(\omega)$ исследуемой газовой пробы можно записать в следующей форме:

$$\alpha(\omega) = -\ln \left(\frac{\max_{l \in \{l_1, \dots, l_n\}} (S_r(\omega, l))}{\max_{l \in \{l_1, \dots, l_n\}} (S_{sample}(\omega, l))} \right) / L,$$

где S_r , S_{sample} – интенсивность ТГц волны, прошедшей через измерительную ячейку, заполненную непоглощающим газом и исследуемой газовой пробой соответственно.

Для получения экспериментальных данных использовался автоматизированный линейный транслятор (рис. 1), на котором устанавливалось внешнее окно и измерительная ячейка круглого сечения с внутренним диаметром 25 мм и длиной $L = 1$ м. Входное и выходное окна выполнены из фторопласта (показатель преломления $n = 1.46$) толщиной $d = 5$ мм, а внешнее толщиной $d_{ext} = 1$ мм. Единичный шаг смещения внешнего окна был установлен равным $l = 0,02$ мм, полное смещение составило 0,6 мм при длине волны $\lambda = 0,538$ мм ($\omega = 557$ ГГц) [3].



Рис. 1. Фотография абсорбционной газовой ячейки с внешним окном, установленным на линейном трансляторе

Объектом исследования была выбрана линия поглощения водяного пара (H_2O) в воздухе с максимумом поглощения на частоте $\omega_0 = 556,938$ ГГц. Измерения проводились при температуре $T = 293$ К, двух значениях давления: $p = 1$ атм и $p = 0,04$ атм, и концентрации водяного пара 5000 ppm ($p = 1$ атм) и 4320 ppm ($p = 0,04$ атм).

Результаты

На рис. 2 приводится сравнение полученных экспериментальных спектров поглощения линии водяного пара в воздухе для стандартной ячейки (оранжевый) и газовой ячейки с внешним окном (синий). Для наглядности, приведен теоретически рассчитанный спектр поглощения на основе данных HITRAN (красный пунктир).

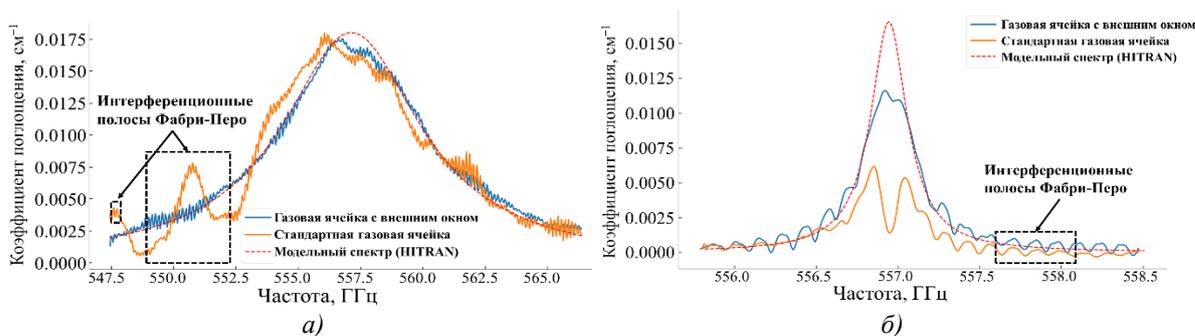


Рис. 2. Спектр коэффициента поглощения водяного пара для двух конфигураций газовой измерительной ячейки при: а) $p = 1$ атм и $T = 293$ К, б) $p = 0,04$ атм и $T = 293$ К

Относительная ошибка восстановления спектральных параметров из экспериментальных данных для двух конфигурации ячеек приведена в табл. 1.

Таблица 1

Относительная ошибка восстановления спектральных параметров линии поглощения водяного пара

	$\alpha(\omega_0), \%$	$2\Delta\omega, \%$	$\omega_0, \%$
	$p = 1$ атм / $p = 0,04$ атм	$p = 1$ атм / $p = 0,04$ атм	$p = 1$ атм / $p = 0,04$ атм
Стандартная газовая ячейка	1.6 / 62.57	21.7 / 67,2	0.17 / 0.015
Газовая ячейка с внешним окном	3.2 / 28.83	0.55 / 40.63	0.07 / 0.003

Заключение

В результате проведенного исследования, на примере экспериментальных спектров поглощения водяного пара доказана эффективность предложенного подхода с использованием внешнего подвижного окна для подавления паразитных интерференционных эффектов ФП. Качественно, это приводит к более однозначной трактовке спектров линии поглощения, исключая «фантомные» линии, которые заметны на левом крыле рис. 2 а и в области максимума поглощения на рис. 2 б. С точки зрения количественной характеристики, данный подход позволяет существенно повысить точность при восстановлении спектральных параметров, необходимых для решения прикладных задач.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (грант № 075-15-2024-557 от 25.04.2024 г.)

Список литературы

1. Zakharova O.A., Raspopin G.K., Zuhayri H., Nikolaev V.V., Borisov A., Kistenev Yu. Reduction of the Fabry-Pérot effect influence on the terahertz absorption spectra of liquid and gas samples by variation of the measurement cell parameters // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. – 2023. – Vol. 12920. – Art. № 1292012.
2. Kistenev Y.V., Borisov A.V., Skiba V.E., Raspopin G.K., Tretyakov A.K. The Fabry-Perot effect suppression in gas cells used in THz absorption spectrometers // JQSRT. – 2024. – Vol. 315. – Art. № 108891.
3. Raspopin G.K., Borisov A.V., Cuisset A., Hindle F., Yakovlev S.V., Kistenev Y.V. Fabry-Perot Effect Suppression in Gas Cells Used in THz Absorption Spectrometers. Experimental Verification // Sensors. – 2024. – Vol. 24, № 22. – Art. № 7380.

Разработка системы компьютерного зрения для распознавания грибов *Agaricus bisporus*

П.С. Руднев, Е.В. Николаева

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Е.Н. Неверов

Кемеровский государственный университет

Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, 650000

E-mail: pavsergrud@yandex.ru

Development of a computer vision system for recognition of *Agaricus bisporus* mushrooms

P.S. Rudnev, E.V. Nikolaeva

Scientific Supervisor: Prof., Dr. E.N. Neverov

Kemerovo State University, Russia, Kemerovo, Krasnaya str., 6, 650000

E-mail: pavsergrud@yandex.ru

Abstract. *In this study the program for *Agaricus bisporus* mushrooms detection with help of computer vision is developed. A method for intersecting contours differentiation is proposed. The developed program is planned to be applied for mushroom harvesting robot control.*

Key words: *computer vision, automation, mushroom harvesting.*

Введение

Автоматизация процессов производства продукции агропромышленного комплекса имеет большое значение в повышении производительности труда и снижения нагрузки на персонал агропромышленных предприятий. Внедрение систем компьютерного зрения в процессы производства агропромышленной продукции является перспективным направлением развития агропромышленного комплекса. Одним из примеров внедрения систем компьютерного зрения в процессы производства пищевой продукции является разработка систем компьютерного зрения для распознавания и классификации грибов [1–3], причём всё большее распространение обретает применение искусственных нейронных сетей [4, 5]. Целью данной работы является разработка программы для детектирования контуров грибов *Agaricus bisporus* на участке грибного поля с возможностью дифференциации контуров шляпок двух соприкасающихся грибов.

Экспериментальная часть

Для детектирования контуров созревших грибов на снимках поверхности грибного поля при параллельном расположении плоскости линзы камеры и плоскости грибного поля на языке программирования Python 3.9.1 написана программа, обрабатывающая изображения виртуальной трёхмерной модели участка грибного поля, содержащего два близко расположенных гриба *Agaricus bisporus*. Рендер изображений с различными взаимными расположениями объектов производился посредством программы Blender-3D 2.79.

В коде программы производится импорт библиотек. Для обработки изображений импортирована библиотека cv2. Сложные математические операции в программе выполняются за счёт функций библиотеки math. За импортом библиотек следует задание переменной, приравненной к результату работы функции считывания изображения imread() библиотеки cv2. Аргументом функции выступает текстовое значение пути в директорию, содержащую файл изображения в формате PNG. Далее задаётся переменная, значением которой является результат конвертации изображения из цветового пространства BGR в формат шкалы серого с помощью функции cv2.cvtColor(). Первым аргументом данной функции является переменная, которой присвоен массив numpy, считанный функцией cv2.imread(). Вторым аргументом выступает код конвертации цвета. В данном случае код

конвертации цвета имеет значение `cv2.COLOR_BGR2GRAY`, что означает перевод изображения из формата BGR в формат шкалы серого. Данная конвертация необходима для работы функции `cv2.findContours()`, отвечающей за поиск на изображении контуров объектов. Далее следует задание порогового значения при определении контуров в считанном изображении с помощью функции `cv2.threshold()`. За определением порогового значения для классификации пикселей следует поиск контуров функцией `cv2.findContours()`.

В коде программы задаётся цикл FOR, в шаге которого для каждого найденного контура в списке контуров выполняются следующие действия: вычисление площади контура в пикселях путём подсчёта всех пикселей, входящих в контур, перевод значения площади в пикселях в значение площади в квадратных сантиметрах путём умножения значения площади в пикселях на коэффициент, вычисленный из отношения участка грибного поля известных размеров в сантиметрах к количеству пикселей изображения, входящих в пределы данного участка. Значение площади контура используется для вычисления диаметра круга, площадь которого равна площади контура. Таким образом вычисляется диаметр шляпки гриба.

С помощью условия IF производится сортировка найденных контуров по признаку превышения диаметром контура в сантиметрах значения 1,5 см. Данная операция необходима для исключения контуров объектов малого размера и высокого уровня яркости поверхности.

За сортировкой контуров по признаку диаметров следует нахождение длин всех отрезков, соединяющих точки контура друг с другом и проходящих через прямоугольную область, площадь которой равна одной десятой площади контура и координаты центра которой совпадают с координатами центра контура. Далее происходит сравнение всех длин, проведённых по таким критериям отрезков. Если длина максимального и минимального отрезка отличаются не более чем на одну десятую от длины максимального отрезка и длины остальных отрезков также не отличаются друг от друга более чем на данную величину, то данный контур по своей геометрической форме приближен к кругу и распознаётся программой как контур гриба *Agaricus bisporus*. Процедура детектирования границы между двумя контурами по отношению к нему не применяется.

При невыполнении вышеописанного условия выполняется нахождение максимального и минимального значений длин отрезков, соединяющих вершины контуров. При этом, вычисляются длины не только отрезков, проходящих через центр контура, но и длины всех отрезков, соединяющих все вершины контура.

Отрезки, длины которых являются максимальными и минимальными, наносятся на изображение функцией `cv2.line()`, аргументами которой являются массив `numpy` изображения, на которое должно быть произведено нанесение линии, кортеж со значениями абсциссы и ординаты первого конца отрезка, кортеж с координатами второго конца отрезка, кортеж со значениями красной, зелёной и синей компонент цветового пространства RGB, отвечающих за цвет линии, и значение прозрачности линии от нуля до единицы.

В случае контуров двух соприкасающихся шляпок грибов *Agaricus bisporus* отрезком, соединяющем вершины контура, наибольшей длины будет отрезок, проходящий через область соприкосновения шляпок и лежащий в линии, содержащей диаметры двух шляпок. Наикратчайшим отрезком в данном случае будет диаметр меньшего гриба. Точка соприкосновения шляпок грибов определяется как точка, лежащая на большем отрезке на расстоянии от точки пересечения большего и меньшего отрезков, равном половине длины меньшего отрезка.

После нахождения точки соприкосновения шляпок грибов на необработанное изображение участка грибного поля наносится отрезок чёрного цвета, перпендикулярный длиннейшему отрезку контура, проходящий через точку соприкосновения шляпок и имеющий длину, равную длине кратчайшего отрезка контура. Далее сохранённое изображение обрабатывается программой повторно, после чего контуры шляпок грибов, разделённые чёрным отрезком, распознаются как два различных контура (рис. 1).

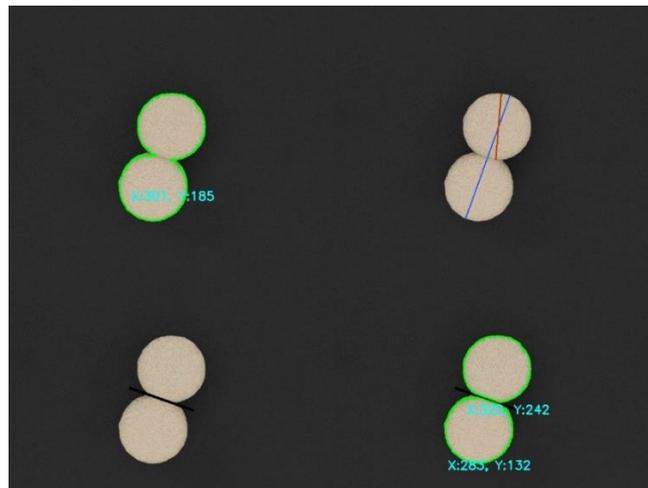


Рис. 1. Обработка изображения

Таким образом происходит детектирование контуров двух соприкасающихся шляпок грибов *Agaricus bisporus*.

Результаты

Алгоритм детектирования различных контуров шляпок грибов *Agaricus bisporus* показал эффективность в определении контуров грибов, находящихся в различных положениях относительно друг друга.

Заключение

Тестирование разработанной в рамках данной работы программы показало необходимость усложнения алгоритма детектирования контуров для решения задачи нахождения контуров грибов *Agaricus bisporus* в скоплениях данных грибов. Задачей дальнейшего совершенствования алгоритма является устранение зависимости алгоритма от количества грибов в скоплении. Планируется дальнейшее применение усовершенствованной версии данной программы для управления автоматизированной системой сбора грибов в условиях грибных ферм.

Список литературы

1. Mingsen H., Long H., Daeun C., John P., Yaoming L. Picking dynamic analysis for robotic harvesting of *Agaricus bisporus* mushrooms// Computers and Electronics in Agriculture. – 2021. – Vol. 185. – Art. № 106145.
2. Mingsen H., Xiaohu J., Long H., Daeun C., John P., Yaoming L. Development of a Robotic Harvesting Mechanism for Button Mushroom// Transactions of the ASABE. – 2021. – Vol. 64, № 2. – P. 565–575.
3. Yang S., Ji J., Cai H., Chen H. Modeling and Force Analysis of a Harvesting Robot for Button Mushrooms// IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 78519–78526.
4. Salerno N., Hu X., Pan Z., Lv S. Picking Path Optimization of *Agaricus bisporus* Picking Robot. – Текст: электронный // Mathematical Problems in Engineering. – 2019. – URL: <https://doi.org/10.1155/2019/8973153> (дата обращения: 01.03.2025).
5. Cong P., Feng H., Lv K., Zhou J., Li S. MYOLO: A Lightweight Fresh Shiitake Mushroom Detection Model Based on YOLOv3. Agriculture. – 2023. – Vol. 13. – P. 392.

Системный аналитик как ключевая роль в обеспечении безопасности IT-проектов

Д.Р. Белкова, М.А. Рудникович

Научный руководитель: старший преподаватель А.С. Колтайс
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: marrud.275@gmail.com

Systems analyst as a key factor in ensuring the security of IT projects

D.R. Belkova, M.A. Rudnikovich

Scientific Supervisor: Senior Lecturer A.S. Koltais
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: marrud.275@gmail.com

Abstract. *The article examines the role of a system analyst in ensuring the security of IT systems at the design stage and analyzes typical errors leading to cyber attacks and data leaks. Based on up-to-date data on cyber attacks, it demonstrates how design errors can lead to serious consequences. It is emphasized that the competent work of a system analyst at the design stage is the basis for creating reliable and secure IT systems capable of resisting modern cyber threats.*

Key words: *System analyst, information security, IT systems, design, cyber threats.*

Введение

Современные IT-системы играют ключевую роль в различных сферах деятельности – от финансовых учреждений до государственных организаций. Однако с ростом сложности информационных систем и увеличением числа кибератак обеспечение безопасности становится одной из главных задач разработки IT-проектов. Согласно отчету IBM X-Force Threat Intelligence Index 2023, около 45 % всех инцидентов в корпоративных системах связаны с ошибками на этапе проектирования [1].

Так, в 2024 году, когда число кибератак на российские компании выросло в 2,5 раза, достигнув 130 тысяч инцидентов. Основными целями стали отрасли критической инфраструктуры (КИИ), промышленность и ИТ-сектор. Ошибки допущенные на этапе проектирования (недостаточный анализ угроз, ошибки в проектировании защиты: не были учтены риски целевых атак, уязвимости в цепочке поставок и необходимость круглосуточного мониторинга) привели к 26 тысячам высококритичных инцидентов, каждый пятый из которых мог нанести ущерб свыше 1 миллиона рублей. Совокупный предотвращенный ущерб составил 26 миллиардов рублей, но без своевременного реагирования последствия могли быть катастрофическими [2].

Эти примеры наглядно демонстрируют, что ошибки на этапе проектирования могут иметь серьезные последствия, поэтому их необходимо учитывать при разработке для обеспечения безопасности IT-систем.

Системный аналитик – это специалист, который изучает потребности заказчика, анализирует процессы и проектирует IT-решения переводя бизнес-требования в технические спецификации. Аналитик координирует работу между заказчиком и разработчиками, документирует процессы и обеспечивает безопасность системы. Его задача – создать эффективные и надежные решения, которые помогают бизнесу достигать поставленных целей. Однако, как показывает практика, недостаточное внимание к безопасности на этапе проектирования приводит к серьезным последствиям.

Экспериментальная часть

Анализ статистических данных в области информационной безопасности позволяет выделить ряд ключевых проблем, непосредственно связанных с ролью системного аналитика в процессе проектирования и разработки IT-систем:

1. Недостаточное внимание к безопасности на ранних стадиях разработки приводит к тому, что уязвимости выявляются только позднее, когда их исправление становится затратным и сложным;
2. Нехватка квалифицированных специалистов в области системного анализа и информационной безопасности может ослабить защиту системы уже на этапе её создания;
3. Быстро меняющаяся технологическая среда требует постоянного обновления знаний и навыков, что усложняет процесс минимизации рисков.

Именно поэтому роль системного аналитика на этапе проектирования становится особенно важной. Любые ошибки или недочеты, допущенные на этом этапе, могут иметь серьезные последствия, такие как утечки данных, компрометация всей системы или несоответствие нормативным требованиям. Например, неверно спроектированная система доступа может позволить злоумышленнику получить контроль над всей инфраструктурой после взлома одного объекта.

Однако даже при наличии необходимых инструментов и методологий (например, Threat Modeling, Secure SDLC или Zero Trust Architecture) ошибки, допущенные системным аналитиком на этапе проектирования, остаются одной из главных причин возникновения киберугроз [3]. В качестве примера, была составлена таблица по наиболее часто встречающимся ошибкам на этапе проектирования и их последствиям для компании.

Таблица 1

Основные ошибки на этапе проектирования

Ошибки системного аналитика на этапе проектирования	Тип киберугрозы	Последствия для компании	Примеры атак/уязвимостей	Методы предотвращения
Неверная приоритизация угроз и механизмов защиты безопасности	Атаки на конфиденциальность данных	Утечка или компрометация чувствительных данных клиентов, сотрудников, партнеров	SQL-инъекции, фишинг, утечка личных данных	Моделирование угроз, регулярные аудиты безопасности
Неверно выбранный паттерн архитектуры (выбор слабых или неподтвержденных технологий)	Атаки на доступность системы	Отключение системы, потеря доступа к критически важным сервисам	DDoS-атаки, отказ в обслуживании	Архитектура нулевого доверия, использование отказоустойчивых решений
Ошибка в анализе потоков данных (не учтенное шифрование чувствительных данных)	Утечка данных или нарушение конфиденциальности	Потери репутации, судебные иски, штрафы	Перехват данных, атаки «человек посередине» (MITM)	Применение шифрования, ограничение доступа к данным
Ошибки в проектировании модели разграничения прав доступа (предоставление слишком широких прав пользователям)	Нарушение контроля доступа	Несанкционированный доступ к системе, изменение или удаление данных	Атаки инсайдеров, несанкционированный доступ	Применение принципа наименьших привилегий, многофакторная аутентификация

Ошибки системного анализа на этапе проектирования	Тип киберугрозы	Последствия для компании	Примеры атак/уязвимостей	Методы предотвращения
Отсутствие учета необходимости масштабируемости и обновляемости	Уязвимости в масштабировании и обновлениях	Потери производительности, невозможность адаптации к новым угрозам	Атаки на старые версии ПО, недостаток защиты при расширении	Постоянное обновление системы

Из таблицы видно, как ошибки системного анализа на стадии проектирования могут привести к широкому спектру киберугроз. Например, недооценка угроз безопасности может привести к утечке конфиденциальных данных, что ставит под угрозу репутацию и финансовое состояние компании. Невнимание к архитектуре безопасности может поставить под угрозу доступность системы и привести к значительным потерям данных. Основными причинами таких ошибок являются недостаточный опыт в области безопасности, отсутствие плана управления рисками и игнорирование современных стандартов, что в итоге приводит к недооценке вопросов защиты и увеличивает риск возникновения уязвимостей.

Результаты

Чтобы избежать выявленных ошибок системный аналитик должен уделять особое внимание этапу проектирования. Именно на этом этапе можно эффективно минимизировать большинство рисков и заложить фундамент для безопасной работы системы на всех этапах её жизненного цикла. Это требует внимательного подхода к нескольким ключевым аспектам: первичный анализ угроз, выбор подходящего паттерна проектирования, обеспечение правильной обработки чувствительных данных и проектирование надежной модели разграничения прав доступа.

На примере первичного анализа угроз можно увидеть, как аналитик, грамотно выявляя и классифицируя потенциальные угрозы на начальной стадии, может предотвратить многие риски. В частности, внимательное отношение к угрозам, таким как SQL-инъекции или утечки конфиденциальных данных, позволяет проектировать системы с интегрированными механизмами защиты, такими как шифрование или многофакторная аутентификация.

Заключение

Таким образом, системный аналитик является не только связующим звеном между заказчиком и разработчиками, но и ответственным за безопасность системы на этапе проектирования. Его работа, направлена на выбор оптимальных решений, которые минимизируют риски кибератак и защищают компанию от серьезных финансовых и репутационных потерь. Важно помнить, что ошибки, допущенные на этом этапе, могут иметь долгосрочные и дорогостоящие последствия. Поэтому создание защищенных и надежных ИТ-систем, которые смогут эффективно противостоять современным киберугрозам зависит от уделения должного внимания безопасности на этапе проектирования.

Список источников

1. IBM X-Force Threat Intelligence Index 2023 // IBM: сайт. – 2024. – URL: <https://www.ibm.com/security/data-breach> (дата обращения: 23.02.2025).
2. Число кибератак в России и в мире // TAdviser: сайт. – 2025. – URL: <https://inlnk.ru/20AxNO> (дата обращения: 24.02.2025).
3. Чем отличается киберугроза от кибератаки? // Библиотека Нейро: сайт. – 2024. – URL: https://ya.ru/neurum/c/tehnologii/q/chem_otlichaetsya_kiberugroza_ot_kiberataki_1069878f (дата обращения: 24.02.2025).

Архитектуры высокопроизводительных систем обработки больших данных для интеллектуального мониторинга промышленного оборудования

А.Д. Рязанов, В.И. Горехов

Научный руководитель: ст. преподаватель Е.А. Потапова
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: anton.ryazanov.main@gmail.com

Architectures of high-performance big data processing systems for intelligent monitoring of industrial equipment

A.D. Ryazanov, V.I. Gorohov

Scientific Supervisor: Senior Lecturer E.A. Potapova
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: anton.ryazanov.main@gmail.com

***Abstract.** This article proposes high-performance computing (HPC) system architectures for processing big data in industrial environments. The methodology of parallel computing and integration into machine learning is analyzed.*

***Key words:** high-performance computing, big data, distributed systems, parallel computing, industrial monitoring.*

Введение

Цифровая трансформация промышленности привела к значительному росту объемов данных, генерируемых производственным оборудованием. Современные предприятия собирают многомерную телеметрию, журналы событий, потоковые данные с датчиков, что создает существенную нагрузку на системы обработки информации [1]. Традиционные серверные решения часто не справляются с возросшим потоком данных, что приводит к задержкам в анализе и, как следствие, к снижению эффективности управленческих решений [2].

Применение высокопроизводительных вычислительных систем (High Performance Computing, HPC) позволяет не только ускорить обработку данных, но и внедрить интеллектуальные алгоритмы для предиктивной аналитики и оптимизации производственных процессов [3]. Однако существующие HPC-решения часто требуют значительных инвестиций в инфраструктуру и сложны во внедрении [4].

Цель данной работы – разработка и исследование эффективной архитектуры высокопроизводительной системы обработки данных, которая может быть относительно легко внедрена на промышленном предприятии.

В настоящей работе мы фокусируемся на параллельных вычислениях в среде Python, используя механизм multiprocessing (многопроцессная модель на одном узле) [5]. Модуль multiprocessing выбран как компромисс между простотой реализации и эффективностью параллельных вычислений. Хотя существуют более производительные решения (MPI, OpenMP), выбранный подход позволяет продемонстрировать основные принципы HPC на практике. Мы иллюстрируем эту идею на задаче обучения моделей машинного обучения на большом синтетическом датасете.

Такой параллельный подход в Python, с одной стороны, не достигает эффективности классических HPC-технологий (MPI, OpenMP, GPU), однако демонстрирует ключевые принципы высокопроизводительных вычислений: разбивку данных на чанки, независимое вычисление локальных результатов и последующее их агрегирование.

Экспериментальная часть

Эксперимент состоит из трех основных этапов:

1. Генерация наборов данных определенных размеров и количества признаков.
2. Обучение с замером времени и валидация для каждой модели.
3. Формирование итоговых результатов

Эксперимент проводился на компьютере с процессором Apple M4 и с 24 ГБ оперативной памяти. Использовался Python версии 3.12.7.

В качестве используемых моделей машинного обучения были выбраны логистическая регрессия и наивный Байес. Функция активации для логистической регрессии используется – сигмоида которая определяется формулой:

$$\sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

Используется кросс-энтропийная функция потерь, которая измеряет разницу между истинными метками y и предсказанными значениями. Чтобы предотвратить переобучение модели и контролировать величину весов, к базовой функции потерь добавляется L2-регуляризация. Итоговую функцию потерь можно описать формулой:

$$L = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (-[y_i * \ln(\hat{y}_i) + (1 - \hat{y}_i) * \ln(1 - \hat{y}_i)]) + \lambda \sum_{j=1}^D \omega_j^2,$$

где ω_j – элементы вектора весов, D – число признаков, λ – гиперпараметр, задающий силу регуляризации, N – количество объектов в выборке

Метод оптимизации – полный батчевый градиентный спуск, когда на каждом шаге суммируется вклад всех объектов и затем обновляются веса.

После обучения с замером времени, каждая модель тестируется с помощью k-fold кросс-валидации, каждая модель тестируется на оставшемся фолде. Для каждого объекта мы получаем предсказанную метку \hat{y} . Затем рассчитываем метрики:

1. Accuracy – доля верных предсказаний.
2. Precision – точность при предсказании класса 1.
3. Recall – полнота для класса 1.
4. F1-score – гармоническое среднее между precision и recall.

Эксперимент проводился на синтетических наборах данных различного объема, 100 000 образцов и 10 признаков, 1 000 000 образцов и 40 признаков и 5 000 000 образцов и 40 признаков. В табл. 1 приведены результаты времени обучения моделей, а в табл. 2 метрики качества их классификации.

Таблица 1

Время обучения моделей

Образцов	Признаков	Логистическая регрессия (Однопоточная), время, с	Логистическая регрессия (Многopotочная), время, с	Наивный Байес, время, с
100 000	10	4,85	50,29	2,65
1 000 000	40	116,33	118,81	119,43
5 000 000	40	580,79	459,93	627,52

Таблица 2

Метрики качества классификации

Модель	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
Логистическая регрессия (Однопоточная)	0,778	0,840	0,637	0,724
Логистическая регрессия (Многopotочная)	0,778	0,840	0,637	0,724
Наивный Байес	0,791	0,791	0,740	0,760

Результаты

Анализ результатов показывает, что эффективность параллельной обработки существенно зависит от объема данных. На малых наборах (100 тыс. записей) накладные расходы на создание процессов превышают выигрыш от параллелизма. При увеличении объема данных до 5 млн записей достигается ускорение в 1,26 раза. Наивный байесовский классификатор показывает стабильную производительность, но уступает оптимизированной параллельной реализации логистической регрессии

На основе проведенного исследования рекомендуется: для наборов данных объемом свыше 1 млн записей применять параллельную обработку, оптимизировать размер блока данных в зависимости от доступных вычислительных ресурсов, осуществлять предварительную фильтрацию и агрегацию данных для снижения нагрузки, а также использовать механизмы кэширования промежуточных результатов.

Заключение

В работе представлена и исследована архитектура высокопроизводительной системы обработки данных для промышленного мониторинга. Экспериментально подтверждена эффективность предложенного подхода на больших наборах данных. Определены оптимальные условия применения параллельной обработки и разработаны практические рекомендации по внедрению системы.

Список литературы

1. Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions // *Future Generation Computer Systems*. – 2013. – Vol. 29, № 7. – P. 1645–1660.
2. Chen M., Mao S., Liu Y. Big Data: A Survey // *Mobile Networks and Applications*. – 2014. – Vol. 19, № 2. – P. 171–209.
3. Lee J., Davari H., Singh J., Pandhare V. Industrial Artificial Intelligence for Industry 4.0-based Manufacturing Systems // *Manufacturing Letters*. – 2018. – Vol. 18. – P. 20–23.
4. Tao F., Zhang M., Cheng J., Qi Q. Digital Twin Workshop: A New Paradigm for Future Workshop // *CIRP Annals*. – 2017. – Vol. 23. – P. 1–9.
5. Tanenbaum A.S., Steen M.V. *Distributed Systems: Principles and Paradigms*. – Upper Saddle River: Pearson Education, 2007. – 705 p.

**Классификация эмоций с помощью моделей глубокого обучения:
оценка точности и статистический анализ**

У.В. Савина, А.Э. Першина, А.Д. Псарев

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: suv@fb.tusur.ru

**Emotion classification using deep learning models:
accuracy assessment and statistical analysis**

U.V. Savina, A.E. Pershina, A.D. Psarev

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. E. Y. Kostyuchenko,

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

E-mail: suv@fb.tusur.ru

Abstract. *The paper presents an analysis of convolutional neural network models based on images from the AffectNet dataset. The effectiveness of the models is assessed using accuracy and f1-score metrics, and their analysis is performed using Mann-Whitney and Wilcoxon statistical tests. The following neural network models were considered: ResNet50, MobileNetV2, created neural network CNN.*

Key words: *emotions, neural networks, accuracy, the Mann-Whitney U test, the Wilcoxon signed-rank test.*

Введение

Эмоции связаны с внутренними переживаниями, мыслями, поступками и потребностями, что позволяет применять их классификацию в различных исследованиях. Особенно данная тема актуальна в области здравоохранения, например, в психологии или аффективной нейронауке [1]. К более конкретным примерам можно отнести использование классификации эмоций при диагностике психических состояний и мониторинга состояния пациента.

Для создания модели классификации эмоций возможно применение моделей глубокого обучения. Обучение нейронной сети происходит так, что при поступлении новых данных связи между нейронами усиливаются, если они согласуются с предыдущими, или ослабляются, если связь оказывается ложной. Это позволяет модели самостоятельно выделять признаки, на основе которых будет произведена классификация, позволяя находить ключевые особенности.

Экспериментальная часть

Для сравнения были выбраны три модели сверточной нейронной сети: ResNet50, MobileNetV2 и разработанная CNN.

ResNet50 – сверточная нейронная сеть, которая предотвращает проблемы с исчезающим градиентом с помощью применения пропускных соединений (skip connections) между блоками, добавляя входные данные блока к его выходу [2].

MobileNetV2 – сверточная нейронная сеть, использующая инвертированные остаточные блоки, которые сначала увеличивают количество каналов, затем применяют глубокие свертки, обрабатывающие каждый канал отдельно, и уменьшают количество каналов обратно [3].

Что касается разработанной сверточной нейронной сети (CNN), то она состоит из пяти сверточных блоков с увеличением количества фильтров, где каждый блок включает слой с активацией ReLU, пакетную нормализацию (BatchNormalization), максимальное объединение

(MaxPooling2D) и дропаут (Dropout 0.35). После извлечения слоев модель включает полносвязный слой, нормализацию, дропаут и выходной слой с L2-регуляризацией.

Для обучения моделей был выбран набор данных AffectNet, состоящий из изображений лиц, распределённых по классам эмоций. Основываясь на классификации эмоций различных психологов, например, таких как Пол Экман, Кэрролл Изард, из набора данных были выбраны 5 классов: грусть, страх, радость, злость и удивление. Данные были сбалансированы и разделены на обучающую и валидационную выборку. Был выбран размер изображений: 224×224 . Данный размер является стандартным для таких моделей, как ResNet50 и MobileNetV2.

Для предобработки данных использовалась библиотека Mediapipe, которая автоматически выделяет ключевые точки лица, тем самым улучшая качество признаков и помогает отслеживать мельчайшие движения и изменения на лице. Помимо этого, была использована аугментация данных, помогающая разнообразить данные, позволяя при правильном подборе методов аугментации увеличить обобщающую способность модели. Были использованы такие методы, как: случайный поворот изображений в пределах сорока градусов (rotation_range) и увеличение масштаба изображений до двадцати процентов (zoom_range). Также использовался метод минимальной и максимальной нормализации, преобразующий значения пикселей изображений из диапазона $[0, 255]$ в диапазон $[0,1]$ для улучшения процесса обучения моделей нейронных сетей.

Результаты

Обучение каждой модели производилось восемнадцать раз, после чего была произведена оценка моделей с помощью теста Манна-Уитни для Accuracy Valid и теста Уилкоксона (Т-критерий Вилкоксона) для Accuracy Test и F1-score. Метрика Accuracy позволяет определить соотношение корректно классифицированных данных к общему числу всех предсказаний, сделанных моделью нейронной сети. Что касается F1-score, то данная метрика предназначена для оценки общей производительности модели и является гармоническим средним между точностью (Precision) и полнотой (Recall) [4].

Тест Манна-Уитни был выбран, поскольку использовались случайные, слабо зависимые обучающие выборки, что соответствует критериям применения данного теста [5]. Метрика Accuracy Valid была выбрана для оценки точности моделей на валидационных данных, так как она измеряет способность моделей правильно классифицировать объекты, не участвовавшие в процессе обучения. Результаты тестов Манна-Уитни показывают, что модель ResNet50 превосходит CNN ($U = 33,5$, $p < 0,001$) и MobileNetV2 ($U = 0,0$, $p < 0,001$) по Accuracy Valid. CNN также значительно лучше MobileNetV2 ($U = 76,0$, $p = 0,006$). Статистические тесты Манна-Уитни подтверждают, что различие в результатах между этими моделями статистически значимо.

Тест Уилкоксона предназначен для сопоставления показателей, которые измерены в двух разных условиях на одной и той же выборке [6]. При применении данного теста для метрики Accuracy Test ResNet50 также показала наилучшие результаты. В 17 из 18 случаев ResNet50 демонстрирует более высокие результаты, чем CNN. Уровень значимости меньше 0,05 ($p < 0,05$), что указывает на то, что различия статистически значимы, то есть различие между группами не является случайным. ResNet50 превосходит и MobileNetV2, показав лучшие результаты в 18 из 18 случаев. В данном случае уровень значимости равен 0,000, что также меньше 0,05, поэтому различие между моделями не случайно. Что касается сравнения CNN и MobileNetV2, то CNN была лучше в 14 случаях ($p < 0,05$).

В табл. 1 представлены средние значения метрик Accuracy для валидационного набора данных (Accuracy Valid) и тестового набора данных (Accuracy Test).

Сравнение метрик описанных моделей

Модель	Accuracy Valid	Accuracy Test
ResNet50	78,44%	73,37%
CNN	72,95%	66,90%
MobileNetV2	69,95%	62,76%

Что касается метрики F1-score, показатели существенно не изменяются по сравнению с Accurasy, так как обе метрики могут давать схожие результаты, особенно когда данные сбалансированы. ResNet50 превосходит как CNN, так и MobileNet, а CNN3 показывает лучшие результаты, чем MobileNetV2. В табл. 2 представлены средние значения метрик.

Таблица 2

Сравнение метрик описанных моделей

Модель	Precision	Recall	F1-score
ResNet50	0,75	0,73	0,73
CNN	0,68	0,67	0,66
MobileNetV2	0,63	0,63	0,63

Заключение

В заключении, сравнивая модели ResNet50, CNN и MobileNetV2 для задачи классификации эмоций, можно сказать о том, что ResNet50 показывает лучшие результаты, CNN немного уступает ResNet50, но её результаты на валидации и тесте остаются вполне конкурентоспособными. Что касается MobileNetV2, то она показывает наименьшую точность.

Список литературы

1. Canal F.Z. et al. A survey on facial emotion recognition techniques: A state-of-the-art literature review // Information Sciences. – 2022. – Vol. 582. – P. 593–617.
2. Meena G., Mohbey K.K., Kumar S. Sentiment analysis on images using convolutional neural networks based Inception-V3 transfer learning approach // International Journal of Information Management Data Insights. – 2023. – Vol. 3, № 1. – P. 100174.
3. Ichim L., Dinu S., Popescu D. Decision Fusion-Based System for Automatic Face Emotions Recognition // Proceedings of SAI Intelligent Systems Conference. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. – P. 743–757.
4. Михайличенко А.А. Аналитический обзор методов оценки качества алгоритмов классификации в задачах машинного обучения. – Текст: электронный // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2022. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskiy-obzor-metodov-otsenki-kachestva-algoritmov-klassifikatsii-v-zadachah-mashinnogo-obucheniya> (дата обращения 01.03.2025)
5. Русаков С.И., Становов В.В. Сравнение результатов обучения искусственной нейронной сети с использованием различных функций распределения случайной величины // Редакционная коллегия. – 2019. – С. 209.
6. Королева В.В. Непараметрические ранговые методы математической статистики // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2019. – Т. 7, № 2. – С. 25–29.

Виртуальный прибор для измерения ФМР магнитных материалов

Р.Ш. Сайидкулов

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. О.А. Доценко
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: rustamsayidqulov59@gmail.com

Virtual instrument to FMR measuring of magnetic substances

R.SH. Sayidqulov

Scientific Supervisor: Ass. Prof. Ph.D. O.A. Dotsenko
Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050
E-mail: rustamsayidqulov59@gmail.com

***Abstract.** This paper describes a virtual instrument developed in the LabVIEW graphical programming language for the FMR device. The program communicates with the FMR device via Arduino UNO.*

***Key words:** FMR, LabVIEW, virtual instrument.*

Введение

В настоящее время потребность в автоматизации научно-исследовательских и промышленных объектов весьма велика. Кроме того, при проведении измерений на научном лабораторном оборудовании получение значений является сложной и трудоемкой задачей, особенно когда измерения проводятся в широком диапазоне частот. В таких ситуациях устройства в основном частично или полностью автоматизированы с помощью программного обеспечения. Это, во-первых, экономит время, а во-вторых, способствует повышению точности измерительных работ. На кафедре радиоэлектроники ТГУ имеется установка для изучения явления ферромагнитного резонанса [1]. Ферромагнитный резонанс – это явление избирательного поглощения энергии электромагнитного излучения в магнитоупорядоченных веществах при определенных значениях частоты и напряженности внешнего магнитного поля [2]. Существующее программное обеспечение (ПО), которое позволяет автоматизировать процесс измерений, морально устарело. В связи с этим была поставлена задача – изменить ПО установки ФМР. Цель работы: создание виртуального прибора (ВП) для автоматизации исследования ФМР магнитных материалов. Для разработки программного обеспечения устройства использовался графический язык программирования LabVIEW.

Экспериментальная часть

Разработка приложений в среде LabVIEW отличается от работы в средах на основе Си или Java одной очень важной особенностью. Если в традиционных алгоритмических языках программирование основано на вводе текстовых команд, последовательно образующих программный код, то в LabVIEW используется язык графического программирования, где алгоритм создается в графической форме (с помощью иконок), образующей так называемую блок-диаграмму [3]. Для установления связи между LabVIEW и измерительным устройством использовалась плата Arduino UNO. Причиной является специальная библиотека LINX, написанная в LabVIEW для платформы Arduino, которая служит для установления облегченной связи. Основная задача созданной программы – регистрация значений с датчика Холла и детектора СВЧ мощности в приборе ФМР, отображение их в виде графика и сохранение в файл.

Результаты

На рис. 1 представлена лицевая панель разработанного виртуального прибора (ВП).

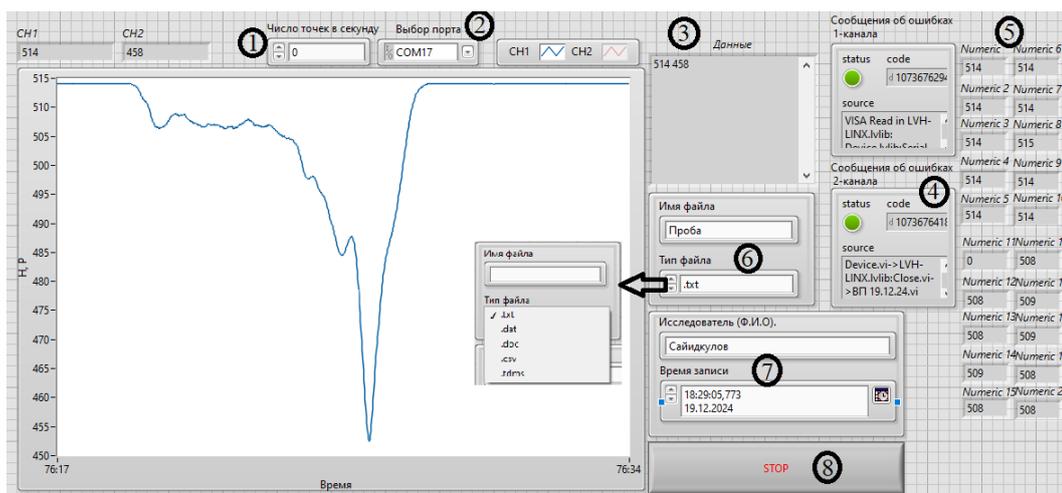


Рис. 1. Лицевая панель

Здесь оператор может ввести количество точек (1), которое необходимо записать в течении одной секунды. Обычно количество точек выбирается до начала измерительных работ. Но разработанный ВП позволяет изменить количество точек в процессе измерения, что не приводит к возникновению ошибки. В разделе (2) выбирается СОМ порт, к которому подключен микроконтроллер. В разделе «Данные» (3) отображаются усредненные данные по первому и второму каналам. Рядом находятся индикаторы (4), указывающие на то, что ВП работает нормально. Если во время работы ВП возникает ошибка из-за какой-то проблемы, индикаторы загораются красным цветом. В столбцах (5) выводятся текущие значения по первому и второму каналу до их усреднения. Разделы «имя файла» и «тип файла» (6) предназначены для ввода имени выходного файла и выбора его типа. Существует 5 типов файлов: «txt», «dat», «doc», «csv», «tdms». Раздел (7) является информационным и предназначен для ввода имени пользователя/оператора и выбора даты и времени начала записи. Чтобы остановить запись данных, нажимаем кнопку «СТОП» (8), после чего записанные данные автоматически сохраняются в той же папке, где находится программа.

На рис. 2 приведена блок-диаграмма ВП. Рассмотрим основные ситуации, которые происходят с сигналами. Основная работа здесь выполняется через два виртуальных подприбора «Analog read» (на рисунке область «Подключение к платформе Arduino»). Благодаря этому можно получить аналоговые данные с первого и второго каналов Arduino UNO. Полученные данные передаются в регистры, где усредняются по десяти значениям. Усредненные данные отображаются в виде графика и сохраняются в файл.

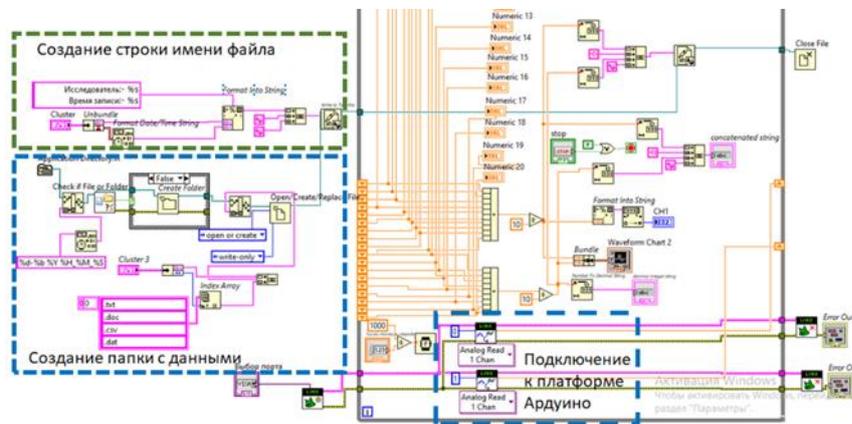
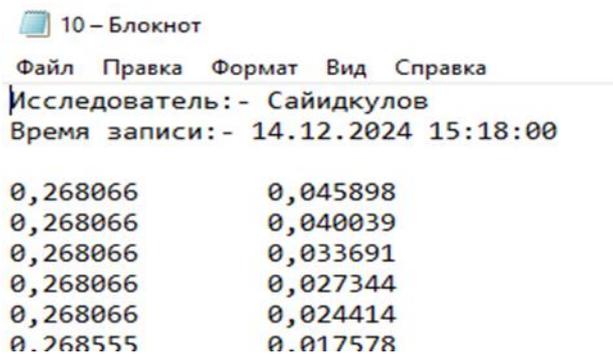


Рис. 2. Блок-диаграмма

На рис. 3 показан пример файла хранения данных в текстовом формате. Вся информация отображается в наглядной и простой форме, как показано на изображении.



10 – Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

Исследователь: - Сайидкулов
Время записи: - 14.12.2024 15:18:00

0,268066	0,045898
0,268066	0,040039
0,268066	0,033691
0,268066	0,027344
0,268066	0,024414
0,268555	0,017578

Рис. 3. Фрагмент файла с измеренными показаниями датчиков

Заключение

В результате работы был создан виртуальный прибор для исследования ФМР, позволяющий регистрировать данные, отображать их в графическом виде на экране и сохранять в файл. Проведены измерения гексаферрита. Показано, что созданный ВП позволяет проводить измерения для больших уровней сигналов. Для малых уровней сигналов необходимо модифицировать установку путем предусиления показаний датчика СВЧ мощности или использования АЦП с большей разрядностью.

Список литературы

1. Сайидкулов Р.Ш. Устройство для измерения магнитного поля на основе Arduino // Сборник трудов XXI Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов. – Томск: STT, 2024. – С. 39–40.
2. Гуревич А.Г. Мелков Г.А. Магнитные колебания и волны. – М.: Физматлит, 1984. – 464 с.
3. Трэвис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех. 4-е издание, переработанное и дополненное. – М.: МДК Пресс, 2011. – 904 с.

Влияние содержания оксида иттрия на характеристики YSZ покрытий

С.А. Сальников, А.А. Андронов

Научный руководитель: с.н.с., к.т.н., А.В. Тюньков

Томский государственный университет систем электроники и радиотехники,

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

E-mail: salnikovs802@gmail.com

Influence of yttrium oxide content on the characteristics of YSZ coatings

S.A. Salnikov, A.A. Andronov

Scientific Supervisor: Ph.D. A.V. Tyunkov

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

E-mail: salnikovs802@gmail.com

Abstract. *The aim of the work was to investigate different proportion of Y_2O_3 doping in ZrO_2 composition on morphology and tribological properties of coatings. The samples of ceramic targets doped with 1, 5, 9, 15 and 20 % mol. Y_2O_3 prepared by conventional furnace sintering. The results of X-ray diffraction analysis are presented in this work, and the wear parameter, microhardness and modulus of elasticity of the coatings were measured.*

Key words: *YSZ, microhardness, electron beam, wear parameter, phase.*

Введение

В настоящее время керамические материалы охватывают большой спектр различного рода отраслей, в зависимости от требований к конечным эксплуатационным характеристикам применяют различные составы керамики. В свою очередь широкое применение нашел диоксид циркония ZrO_2 , используемый в биомедицине [1], энергетической [2], химической [3], топливной промышленности [4], а также для лопаток горячего тракта газотурбинных двигателей [5]. Несмотря на уникальные свойства, которыми обладает керамика на основе ZrO_2 , она не способна удовлетворять всем физическим требованиям для каждой из сфер применения. Добавление в качестве примесей других редкоземельных металлов в ZrO_2 позволяет повысить некоторые эксплуатационные характеристики, а также исключить фазовые переходы. Поэтому применимым на практике является состав диоксида циркония стабилизированного оксидом иттрия (YSZ). Введение оксида иттрия (Y_2O_3) ведет к повышению вязкости и прочности формируемого покрытия, а также позволяет стабилизировать фазовый состав покрытия [6].

Целью исследования является анализ влияния процентного содержания Y_2O_3 на прочностные характеристики, износостойкость и фазовый состав покрытий.

Экспериментальная часть

Осаждение покрытий осуществлялось с использованием форвакуумного источника электронов с плазменным катодом [7]. Электронный пучок, проходящий сквозь атмосферу рабочего газа (гелий) при давлении 4 Па, фокусировался на испаряемой мишени диаметром 1 см. Перед началом испарения мишень прогревалась электронным пучком в течении 10 минут для обезгаживания. Вовремя прогрева мишени параметры пучка периодически изменялись, ускоряющее напряжение увеличивалось с 2 кВ до 11 кВ, ток эмиссии с 0,2 мА до 0,25 мА, ток разряда оставался неизменным 0,33 А. Процесс испарения и последующей конденсации материала мишени происходил на протяжении 10 минут, где ток разряда постепенно увеличивался до 1,13 А для поддержания постоянной скорости испарения.

В результате были получены 5 покрытий на металлических подложках с разным содержанием оксида иттрия.

Результаты

На рис. 1 представлены результаты рентгеноструктурного анализа. Согласно полученным данным, в покрытиях наблюдаются интенсивные линии фаз являющимися характерными для диоксида циркония. На рентгенограммах образца с содержанием 1,8 % иттрия наблюдается преимущественно рефлексы от моноклинной фазы, которая превалирует над кубической. При увеличении иттрия до 5,8 %, наблюдается переход в преимущественно тетрагональную фазу, составляющую практически всю объемную долю фаз в покрытии. Дальнейшее увеличения процентного содержания иттрия в покрытии ведет к фазовому переходу от тетрагональной фазы к кубической.

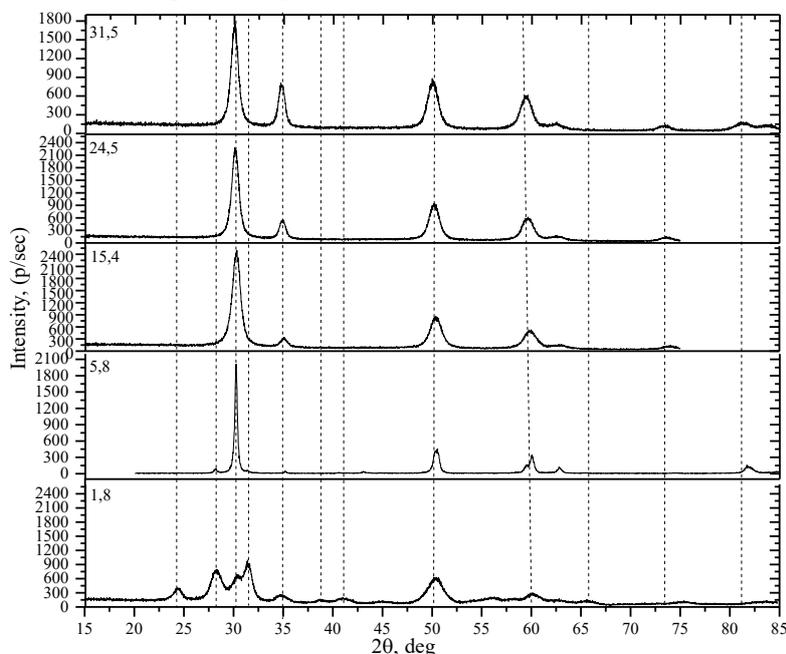


Рис. 1. Рентгеноструктурный анализ полученных покрытий с различным содержанием иттрия

На рис. 2 представлены зависимости изменения параметра износа, микротвердости и модуля упругости покрытий от процентного соотношения содержания оксида иттрия.

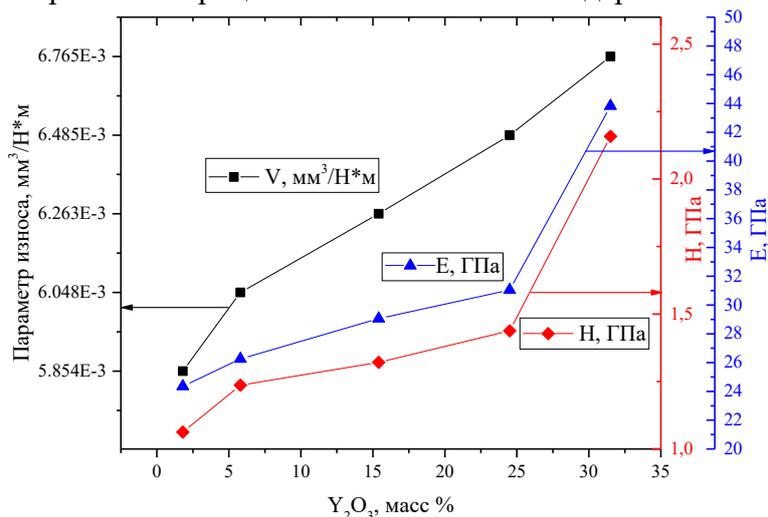


Рис. 2. Зависимость параметра износа, микротвердости (H) и модуля упругости (E) от процентного содержания оксида иттрия

Результаты измерения трибологических характеристик показали, что с увеличением содержания оксида иттрия в покрытии параметр износа возрастает, что приводит к более

быстрому разрушению покрытия, поскольку износостойкость диоксида циркония напрямую зависит от степени вязкости разрушения, при более высокой вязкости износостойкость покрытия увеличивается [8]. В свою очередь кубическая фаза в диоксиде циркония сопровождается низкой вязкостью разрушения и прочностью покрытия [9]. Значения микротвердости и модуля упругости увеличивается с ростом содержания оксида иттрия, что связано с изменением фазового состава покрытия. Максимальное значение которых достигается в покрытии, имеющем полностью кубическую фазу.

Заключение

Исследование фазового состава покрытий показало, что с ростом процентной доли примеси оксида иттрия в покрытии свыше 5,8 % происходит фазовый переход от практически полной тетрагональной фазы в полностью кубическую. В результате измерения параметров износа и скорости изнашивания установлено, что увеличение содержания оксида иттрия не оказывает влияния на улучшение износостойкости покрытий. Однако, увеличение процентного содержания оксида иттрия ведет к повышению микротвердости и упругости формируемых покрытий.

Работа поддержана грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках конкурса FEWM-2024-0006.

Список литературы

1. Chevalier J. What future for zirconia as a biomaterial? // *Biomaterials*. – 2006. – Vol. 27, № 4. – P. 535–543.
2. Vasylyv B., Kulyk V., Duriagina Z., Mierzwinski D., Kovbasiuk T., Tepla T. Estimation of the effect of redox treatment on microstructure and tendency to brittle fracture of anode materials of YSZ–NiO (Ni) system // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2020. – Vol. 6, № 12. – P. 61–71.
3. Yan Y., Ma Z., Sun J., Bu M., Huo Y., Wang Z., Li Y., Hu N. Surface microstructure-controlled ZrO₂ for highly sensitive room-temperature NO₂ sensors // *Nano Materials Science*. – 2021. – Vol. 3, № 3. – P. 268–275.
4. Zhang S., Sun N., He X., Lu X., Zhang X. Physical properties of ionic liquids: database and evaluation // *Journal of physical and chemical reference data*. – 2006. – Vol. 35, № 4. – P. 1475–1517.
5. Padture N.P., Gell M., Jordan E.H. Thermal barrier coatings for gas-turbine engine applications // *Science*. – 2002. – Vol. 296, № 5566. – P. 280–284.
6. Kulyk V., Duriagina Z., Kostryzhev A., Vasylyv B., Vavruk V., Marenych O. The effect of yttria content on microstructure, strength, and fracture behavior of yttria-stabilized zirconia // *Materials*. – 2022. – Vol. 15, № 15. – P. 5212–5228.
7. Андронов А.А., Золотухин Д.Б., Назаров А.Ю., Окс Е.М., Рамазанов К.Н., Тюньков А.В., Юшков Ю.Г. Электронно-лучевое осаждение покрытий из циркониевой керамики форвакуумным плазменным источником электронов // *Прикладная физика*. – 2023. – № 2. – С. 91–96.
8. Aruna S.T., Balaji N., Rajam K.S. Phase transformation and wear studies of plasma sprayed yttria stabilized zirconia coatings containing various mol% of yttria // *Materials Characterization*. – 2011. – Vol. 62, № 7. – P. 697–705.
9. Booser R.E. *Monitoring, materials, synthetic lubricants, and applications* Florida: Ed. CRC Press, 1994. – 587 p.

**Оценка риска возникновения профессионального выгорания сотрудника:
постановка задачи**

Т.С. Симонов, А.Г. Тишаева, Ю.П. Ехлаков

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Ю.П. Ехлаков
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: tim.sim4@yandex.ru

Assessing the risk of professional burnout of an employee: setting the task

T.S. Simonov, A.G. Tishaeva, Yu.P. Yehlakov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Yu.P. Yehlakov
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050
E-mail: tim.sim4@yandex.ru

***Abstract.** This article offers a mathematical formulation of the problem of assessing the employee professional burnout risk. The professional burnout components are used as risk-forming factors. The authors suggest a model to assess the burnout risk. The parameters of the model are the personal characteristics of the employee. A five-factor questionnaire based on the Big Five model is used to assess these characteristics.*

***Key words:** оценка риска, профессиональное выгорание, нечеткая модель, математическая постановка*

Введение

В настоящее время профессиональное выгорание сотрудников является актуальной проблемой для российских ИТ-компаний. Компании несут убытки, поскольку психологические проблемы снижают эффективность работы сотрудников и часто приводят к увольнениям. При этом, цена подбора нового сотрудника для компаний остается высокой. Дефицит кадров, сложившийся к 2024 году в России, обостряет данную проблему.

В целях автоматизации процедуры подбора кандидатов на вакансию существует ряд моделей, выводящих числовую оценку кандидата на основании различных входных переменных. В работе [1] для количественной оценки качества кандидата используется нейронечеткая система. В качестве входных переменных о соискателе на должность в ИТ-компании авторами выбраны следующие: возраст, образование, опыт работы, знание иностранного языка, обладание специальными навыками в программировании, умение работать в команде. В статье [2] для оценки кандидата в ИТ-компанию используется нечеткая модель. Данная модель в качестве входных параметров использует ряд психологических характеристик, в том числе лидерство, коммуникабельность и стрессоустойчивость. Однако данные о способах оценки характеристик в работе отсутствуют.

Таким образом, рассмотренные модели оценивают компетентность кандидата, однако практически не учитывают его психологических характеристик или не обосновывают способа их оценки. Цель данной работы заключается в оценке риска возникновения профессионального выгорания у сотрудника на основании его личностных характеристик.

Экспериментальная часть

В литературе синдром профессионального выгорания сотрудника понимается как совокупность негативных эмоциональных переживаний относительно своей работы и

субъектов делового общения. Переживания возникают в качестве реакции на ситуации с эмоциональной напряженностью и когнитивной сложностью [3] и негативно влияют на сотрудника в процессе выполнения стоящих перед ним профессиональных задач. Риск возникновения у сотрудника профессионального выгорания определим, как вероятность возникновения у сотрудника негативных эмоциональных переживаний относительно своей работы, снижающих эффективность ее выполнения. В качестве множества рискообразующих факторов будем использовать следующие описательные характеристики профессионального выгорания, предложенные в [4]: *Эмоциональное истощение* – переживание опустошенности и бессилия; *Деперсонализация* – дегуманизация отношений с другими людьми (проявление черствости, бессердечности, цинизма или грубости); *Редукция личных достижений* – занижение собственных профессиональных достижений, потеря смысла и желания вкладывать личные усилия на рабочем месте.

Для идентификации рискообразующих факторов профессионального выгорания будем использовать личностные характеристики сотрудника согласно модели «Большая пятерка». Данная модель, рассмотренная в [5], включает в себя: экстраверсию, привязанность, саморегуляцию, нейротизм и открытость новому опыту. *Экстраверсия* показывает, любит ли человек быть среди людей. *Привязанность* характеризует, насколько гармонично человек существует в социуме, противопоставляет просоциальную и коллективную ориентацию эгоцентризму. *Саморегуляция* определяет, насколько добросовестно человек выполняет свои обязанности, его целеустремленность, организованность, мотивация. *Нейротизм* показывает, насколько человек эмоционально стабилен или нестабилен. *Открытость опыту* отражает, насколько человек заинтересован в узнавании нового, знакомстве с новыми людьми, посещении новых мест.

Каждая из описанных выше характеристик влияет на вероятность возможного проявления конкретного рискообразующего фактора. Связи между рискообразующими факторами профессионального выгорания и личностными характеристиками сотрудника представлены в табл. 1. Данные связи определены на основе анализа систематического обзора работ по исследованию корреляции между личностными параметрами и компонентами профессионального выгорания, представленного в [6].

Таблица 1

Связи между рискообразующими факторами профессионального выгорания и личностными характеристиками сотрудника

Рискообразующий фактор	Личностные характеристики
Эмоциональное истощение	Прямая связь: нейротизм; обратная связь: экстраверсия, привязанность, открытость опыту, саморегуляция
Деперсонализация	Прямая связь: нейротизм; обратная связь: экстраверсия, привязанность, открытость опыту, саморегуляция
Профессиональная редукция	Прямая связь: нейротизм; обратная связь: экстраверсия, привязанность, открытость опыту, саморегуляция

На основе таблицы определим множество решающих правил оценки вероятности рискообразующих факторов, например, «ЕСЛИ нейротизм = высокий И экстраверсия = низкий И привязанность = низкий И открытость опыту = низкий И саморегуляция = низкий, ТО эмоциональное истощение = высокий».

В качестве измерительной шкалы для оценки личностных характеристик сотрудника предлагается использовать *пятифакторный личностный опросник*, предложенный в [7]. Адаптированный вариант опросника версии А.Б. Хромова содержит набор из 75 парных, противоположных по своему значению, стимульных высказываний, характеризующих поведение человека. Степень выраженности каждой из пяти личностных характеристик определяется по оценочной шкале Лайкерта (-2; -1; 0; 1; 2). Минимальное количество набранных баллов для любого фактора равно 15, максимальное количество – 75. Авторы

тестовой методики условно разделили шкалу на высокие (51–75 баллов), средние (41–50 баллов) и низкие (15–40 баллов) оценки. В виду присутствия неопределенности, введем пересекающиеся интервалы для оценки каждой из личностных характеристик сотрудника: высокие (45–75 баллов), средние (36–50 баллов) и низкие (15–40 баллов).

Результаты

С учетом вышеизложенного задачу оценки риска возникновения профессионального выгорания сотрудника можно представить в виде следующего кортежа:

$$M = \{W, Z, C, K, RC, RZS, L, RPZC\}.$$

Пусть задано:

W – риск возникновения профессионального выгорания сотрудника, представленный в виде содержательной формулировки; Z – множество рискообразующих факторов профессионального выгорания; C – множество личностных параметров сотрудника; $K = \{s_i\}, i = 1..n$ – множество измерительных шкал для оценки личностных параметров сотрудника; $RC = \{r_i\}, i = 1..m$ – множество правил (методик) оценки личностных характеристик сотрудника в выбранной шкале; $RZS = \{c_i\}, i = 1..k$ – множество зависимостей между личностными характеристиками сотрудника и рискообразующими факторами профессионального выгорания; $L = \{t_i\}, i = 1..t$ – множество измерительных шкал для оценки вероятности рискообразующих факторов; $RPZC$ – множество решающих правил оценки вероятности рискообразующих факторов по каждой личностной характеристики сотрудника.

Требуется определить:

Вероятность проявления каждого из рискообразующих факторов профессионального выгорания $PZ = P(p_i)$;

Итоговую вероятность возникновения профессионального выгорания сотрудника PW в течении трудовой деятельности.

Заключение

В результате предложена математическая постановка задачи оценки риска возникновения профессионального выгорания сотрудника. Сейчас она проходит апробацию в томской компании. В дальнейшем планируется развитие модели с использованием математического аппарата нечеткой логики и нейронных сетей для количественной интерпритации качественных оценок вероятности возникновения риска.

Список литературы

1. Кричевский М.Л. Отбор персонала с использованием мягких вычислений // Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. – 2017. – № 6. – С 61–65.
2. Тагиров В.К., Тагирова Л.Ф. Интеллектуальная поддержка принятия решений в задачах подбора персонала на основе композиционных правил нечеткой логики // Технические науки – от теории к практике. – 2015. – № 9. – С. 19–29.
3. Водопьянова Н.Е., Старченкова Е.С. Синдром выгорания диагностика и профилактика. – СПб: Питер, 2005. – 336 с.
4. Maslach C., Jackson S., Leiter M. The Maslach burnout inventory // Evaluating Stress: A Book of Resources – NY: Scarecrow Press, 1997. – P. 191–218.
5. Воронкова Я.Ю., Радюк О.М., Басинская И.В. "Большая пятёрка", или пятифакторная модель личности // Смысл, функции и значение разных отраслей практической психологии в современном обществе: сборник научных трудов. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2017. – С. 39–45.
6. Angelini G. Big five model personality traits and job burnout: a systematic literature review // BMC Psychol. – 2023. – Vol. 11. – Art. № 49.
7. McCrae R.R. et al. Cross-cultural assessment of the five-factor model: The Revised NEO Personality Inventory // Journal of Cross-Cultural Psychology. – 1998. – Vol. 29, № 1. – С. 171–188.

Исследование электропроводности углеродных пленок на основе анализа низкочастотного шума

В.А. Сокурэнко

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Ю.В. Сахаров
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: sokurenko.sl.08@mail.ru

Study of electrical conductivity of carbon films based on low-frequency noise analysis

V.A. Sokurenko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Y.V. Sakharov
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Linina str., 40, 634050
E-mail: sokurenko.sl.08@mail.ru

***Abstract.** This article presents the results of study of the electrical conductivity mechanisms of carbon resistors base of measuring the dependence of current and current low noise on voltage. The mechanisms of electrical conductivity are studied in Schottky, Pull-Fraenkel coordinates and tunneling at a temperature of 25–65 °C. The results of this work will be used to analyze the structure of resistive films in future studies.*

***Key words:** electrical conductivity, low-frequency noise, resistor*

Введение

Явление низкочастотного шума (фликкер-шума) свойственно всем электронным компонентам. Практическое применение данного явления связано с неразрушающим контролем электронных компонентов. Данный метод шумовой диагностики обладает высокой чувствительностью и позволяет быстро оценивать состояние электронных устройств, превосходя традиционные методы испытаний [1].

Низкочастотный шум и связанные с ним флуктуации напряжения (или тока) связаны с взаимодействием носителей заряда со структурой пленки электронного компонента. Такую же взаимосвязь имеют и механизмы электропроводности. Однако в открытых источниках почти отсутствуют исследования о взаимосвязи низкочастотных флуктуации тока и напряжения с классическими ВАХ элементов [2].

Проведение исследований, направленных на установление взаимосвязей между микроскопическими флуктуациями и макроскопическими характеристиками с помощью механизмов электропроводности, может стать важным шагом для практического применения низкочастотного шума. Поэтому исследование является актуальным. Целью работы является определение доминирующего механизма проводимости, оценки полученных экспериментальных данных по ВАХ зависимости тока от напряжения и ВАХ тока шума от падения напряжения на образце.

Экспериментальная часть

Для исследования были изготовлены толстопленочные резисторы на основе углеродной пасты методом принтерной печати [3]. В качестве основания (подложки) был выбран фольгированный стеклотекстолит марки FR-4, медная пленка которого использовалась для формирования контактных площадок. Для резистивной пленки использовалась паста ПУРП-0,05 с поверхностным сопротивлением $\rho_s = 50$ Ом/кв.

Исследуемый резистор подключался по схеме делителя напряжения. Для измерения ВАХ ($I-U$) тока и напряжения измерялось падение напряжения на исследуемом резисторе и ток через делитель напряжения. При измерении низкочастотных-ВАХ ($I_{ш}-U$) к делителю

напряжения подключалось устройство измерения низкочастотных шумов для измерения тока шума от падения напряжения на резисторе.

Измерение низкочастотных шумов резистивных компонентов осуществлялось с помощью блока малошумящего усилителя и осциллографа. Используемый для измерения блок состоял из каскадного соединения малошумящих усилителей с общим коэффициентом усиления использовался частотный диапазон 0,5–10 Гц.

После получения ВАХ и низкочастотных-ВАХ зависимости строились в координатах Шоттки, Пулла-Френкеля и туннельного механизма электропроводности [4]. Температурная зависимость тока и напряжения использовалась для расширения динамического диапазона измеряемых характеристик. Образцы нагревались в термокамере при температуре 25–65 °С.

Результаты

На рис. 1–3 представлены экспериментальные данные механизмов электропроводности Шоттки, Пула-Френкеля и туннельного механизма.

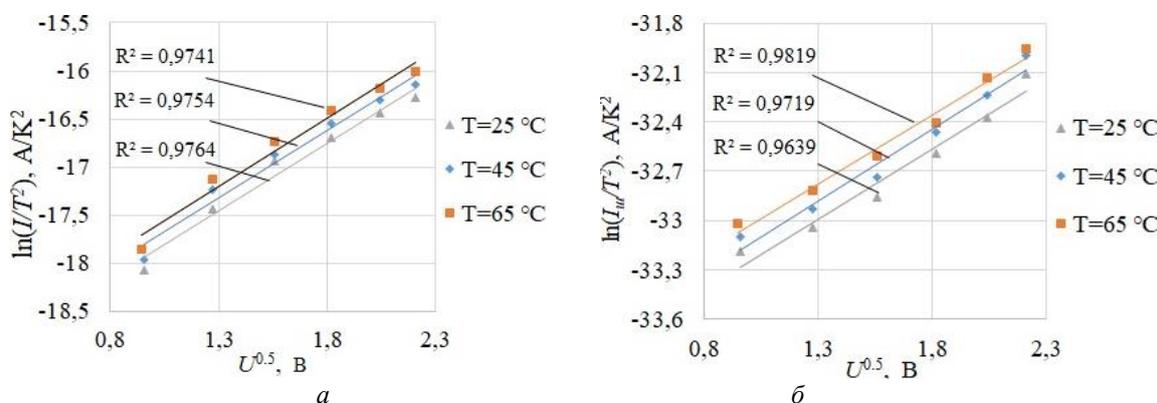


Рис. 1. Электропроводность в координатах Шоттки при температуре $T=25 \div 65$ °С в зависимости тока от напряжения (а) и тока шума от напряжения (б)

По механизму Шоттки среднее значение достоверности линейной аппроксимации по экспериментальным данным составило $R^2 = 0,9753$ для зависимости тока от напряжения и $R^2 = 0,9725$ для зависимости тока шума от напряжения. Получена классическая зависимость, демонстрирующая приращение тока при нагреве образца.

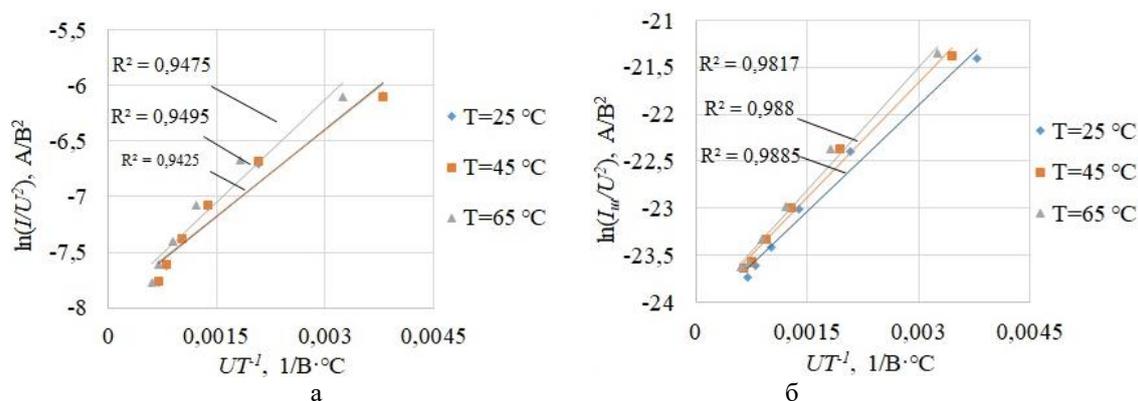


Рис. 2. Электропроводность по механизму туннелирования при температуре $T=25 \div 65$ °С в зависимости тока от напряжения (а) и тока шума от напряжения (б)

По туннельному механизму среднее значение достоверности линейной аппроксимации по экспериментальным данным составило $R^2 = 0,9465$ для зависимости тока от напряжения и $R^2 = 0,986$ для зависимости тока шума от напряжения.

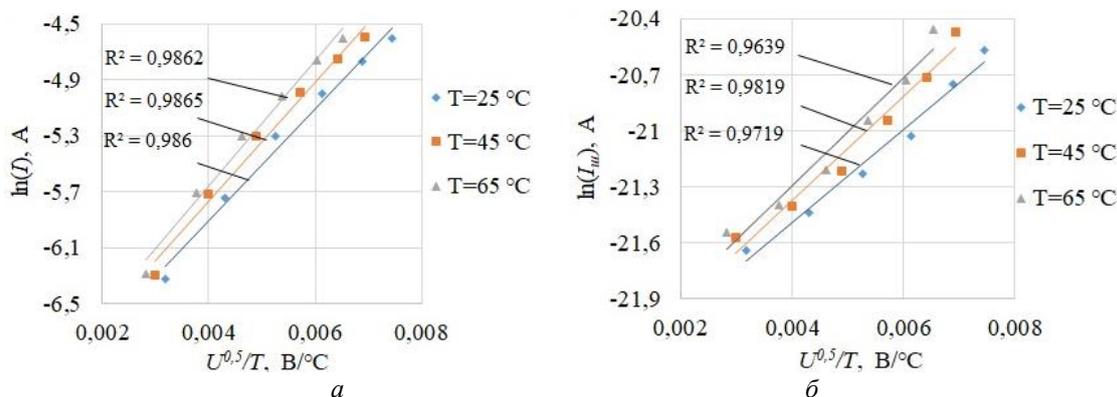


Рис. 3. Электропроводность по механизму Пула-Френкеля при температуре $T=25 \div 65$ °C в зависимости тока от напряжения (а) и тока шума от напряжения (б)

По механизму Пула-Френкеля среднее значение достоверности линейной аппроксимации по экспериментальным данным составило $R^2 = 0,9865$. Среднее значение достоверности аппроксимации для зависимости тока шума от напряжения составило $R^2 = 0,9724$. При этом достоверность аппроксимации уменьшается с ростом температуры.

Заключение

Таким образом, электропроводность обусловлена конкуренцией и взаимодействием нескольких механизмов. Анализ экспериментальных данных показывает, что электропроводность исследуемого образца при анализе ВАХ обусловлена механизмом Пула-Френкеля, так как обладает наибольшей достоверностью линейной аппроксимации и стабильностью от температуры, что указывает на его значительный вклад в общую проводимость. Однако при рассмотрении низкочастотных-ВАХ туннельный механизм преобладает в рассматриваемом диапазоне температур и напряжении. Можно сделать вывод, что электропроводность исследуемого образца обусловлена конкуренцией и взаимодействием нескольких механизмов. При этом в зависимости от рассматриваемого параметра и внешних условий преобладает определенный механизм электропроводности.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, госзадание № FEWM-2025-0003.

Список литературы

1. Vandamme L. Noise as a diagnostic tool for quality and reliability of electronic devices // IEEE Trans. Electron Devices. – 1994. – Vol. 41. – P. 2176–2187.
2. Сандомирский В.Б. Физика тонких пленок. Современное состояние исследования и технические применения. – М: Москва, 1978. – 360 с.
3. Труфанова Н.С., Рагимов Э.Р., Артищев С.А., Лоцилов А.Г. Применение аддитивной принтерной технологии для изготовления многослойных печатных плат // Нанотехнологии: разработка, применение - XXI век. – Т. 14, № 4. – 2022. – С. 37–44.
4. Плотников В.В. Исследование механизмов проводимости в тонких плёнках твёрдых растворов титаната бария стронция: специальность: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Санкт-Петербург, 2016. – 22 с.

Влияние режимов напыления наноразмерных пленок ИТО на их электрофизические и оптические характеристики

А.С. Терехова

Научный руководитель: профессор, д.т.н. С.В. Смирнов
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: tas18102004@mail.ru

Influence of sputtering modes of nanosized ITO thin films on their electrophysical and optical properties

A.S. Terekhova

Scientific Supervisor: Prof., Dr. S.V Smirnov
Tomsk State University of Control System and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str, 40, 634050
E-mail: tas18102004@mail.ru

Abstract. *in the present study we performed the dependence of percentage amount of oxygen in the vacuum camera deal ITO film magnetron spraying on their electrophysical and optical properties such as carrier concentration, Fermi level position, conductivity. Plasma resonance frequency was calculated and reflection spectrums of ITO films were got.*

Key words: *ITO thin films, magnetron spraying, percentage amount of oxygen, plasma resonance frequency.*

Введение

Перспективным направлением применения пленок оксида индия, легированного оловом, ИТО является изготовление на их основе биосенсоров, работа которых основана на использовании плазменного резонанса. Применимость для этих целей ИТО ограничивается плазменной частотой (1) [1, 2].

$$\omega_p = \sqrt{\frac{q^2 \cdot n}{\varepsilon_0 \cdot m_e^*}}, \quad (1)$$

где $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона, n – концентрация носителей заряда,

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{М}}$ – электрическая постоянная, m_e^* – эффективная масса электрона.

Для пленок ИТО $m_e^* = 0,36 \cdot m_e$.

На ИК спектрах плазменный резонанс характеризуется минимумом коэффициента отражения. А изменение хода зависимости называют плазменным краем.

Целью данной работы является исследование режимов напыления пленок ИТО и выбор наиболее оптимального, который будет обеспечивать получение пригодных для использования пленок с нужными электрофизическими характеристиками.

Экспериментальная часть

Исследуемые образцы были получены методом магнетронного распыления из компактной мишени индий-олово (In – 90 %, Sn – 10 %) в среде с разным процентным содержанием кислорода. Напыление происходило на нагретую до 350 °С подложку. После напыления образцы отжигались в вакууме при температуре 400 °С в течение 30 минут.

Для образцов методом термо-эдс вычислялась концентрация электронов, четырехзондовым методом измерялась электропроводность и рассчитывалась длины волн, соответствующие частоте плазменного резонанса, с помощью Фурье-спектроскопии снимались спектры отражения и проводилось сравнение расчетных и экспериментальных данных.

Результаты

Исследовалась зависимость процентного содержания кислорода в камере в процессе напыления пленок на такие электрофизические параметры, как положение уровня Ферми, концентрация носителей заряда и электропроводность. Содержание кислорода ниже 10 % приводит к повышению электропроводности, а высокое содержание кислорода, больше 30 %, к снижению, что связано с уменьшением концентрации кислородных вакансий [3]. В табл. 1 представлены рассчитанные значения параметров пленок, полученных при различных режимах напыления.

Таблица 1

Рассчитанные параметры пленок

Образец	Процентное содержание кислорода	Положение уровня Ферми, E_F , Эв	Концентрация n , $см^{-3}$	Электропроводность, σ , $(Ом \cdot м)^{-1}$	Длина волны плазменной частоты λ_p , мкм
1	23	0,19	$8 \cdot 10^{19}$	$3 \cdot 10^4$	2,2
2	17	0,43	$2,7 \cdot 10^{20}$	10^5	1,2
3	22	0,29	$1,5 \cdot 10^{20}$	$1,3 \cdot 10^4$	1,6
4	15	0,13	$4,6 \cdot 10^{19}$	10^4	3
5	16	0,35	$2 \cdot 10^{20}$	$2,7 \cdot 10^4$	1,4

Из полученных параметров трудно установить корреляцию между процентным содержанием кислорода в камере и электропроводностью [3]. Это связано с тем, что на концентрацию свободных носителей заряда влияет температура, воздействию которой подвергается пленка в ходе исследований, т.к. при этом активируются донорные центры, что изменяет концентрацию и электропроводность.

На рис. 1 представлена зависимость величины $\ln\left(\frac{1}{R}\right)$ от обратной температуры.

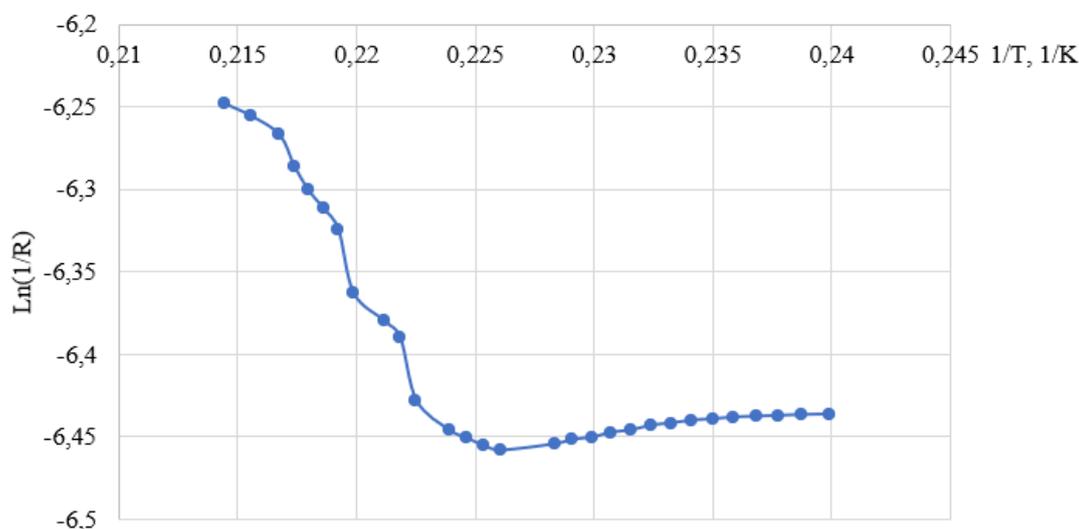


Рис. 1. Зависимость величины $\ln\left(\frac{1}{R}\right)$ от обратной температуры

На графике имеется два участка. Первый участок, соответствующий низким температурам, обусловлен ионизованными атомами олова, а второй – кислородными вакансиями.

На рис. 2 представлены ИК спектр отражения образца 1.

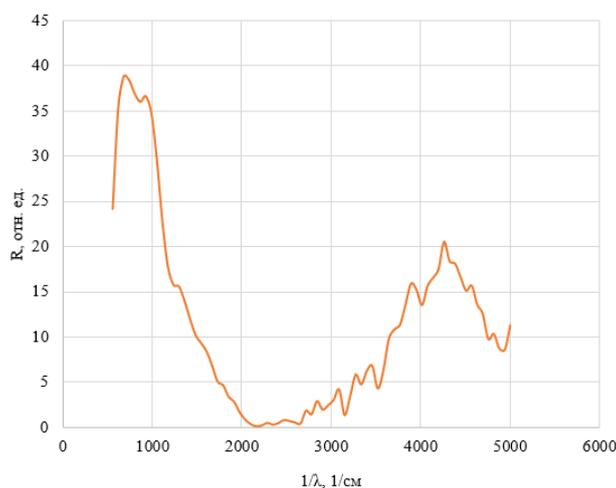


Рис. 2. Спектр отражения образца 1

Полученный плазменный край на спектре отражения размыт, что характерно для металлов и вырожденных полупроводников [1], а плазменная частота соответствует расчетной из формулы (1).

Заключение

Выбранные режимы напыления позволяют получать пленки ИТО толщиной 100–150 нм с концентрацией порядка $4,6 \cdot 10^{19} - 2,7 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ и частотой плазменного резонанса в ближней и средней ИК-области. В результате проведенных исследований было установлено, что концентрация кислорода в вакуумной камере в процессе напыления оказывает сильное влияние на электрофизические характеристики пленок ИТО. Полученные пленки являются перспективными для использования биосенсоров.

Работа выполнена по гранту «Теоретические исследования и экспериментальная разработка оптической приставки для анализа параметров компонентов высокоскоростных волоконно-оптических систем передачи аналогового и цифрового сигналов».

Список литературы

1. Гроссе П. Свободные электроны в твердых телах: учебник. – Москва: Изд-во Мир, 1982. – 270 с.
2. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках: монография. – Москва: Изд-во Мир, 1973. – 456 с.
3. Амосова Л.П., Исаев М.В. Магнетронное напыление прозрачных электродов ИТО из металлической мишени на холодную подложку // Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84, № 10. – С. 127–32.

Экспериментальное исследование зеркально-симметричной структуры с электромагнитным поглотителем

В.А. Трубченинов, С.В. Власов

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: slava.trubcheninov@mail.ru

Experimental study of the reflection symmetric structure with electromagnetic absorber

V.A. Trubcheninov, S.V. Vlasov

Scientific Supervisor: Ph.D. Y.S. Zhechev

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

E-mail: slava.trubcheninov@mail.ru

Abstract. *In this study we experimentally investigated the impact of an electromagnetic absorber (EA) on the characteristics of a reflection symmetric structure in a differential mode. The results showed that adding an EA reduces the interference amplitude by a factor of 5.3 when placed on one side and by a factor of 8.3 when placed on both sides of the PCB. It also increases the interference arrival time and improves interference suppression in the stopband. The obtained data confirm the effectiveness of the proposed structure in mitigating conductive electromagnetic interference.*

Key words: *reflection symmetric structure, electromagnetic absorber, differential mode, time response, transmission coefficient, laboratory experiment.*

Введение

Существуют устройства, которые функционируют в дифференциальном режиме передачи данных. Они используют не один проводник в качестве передачи сигнала, а два. Напряжение измеряется в таком режиме не относительно земли, а относительно двух проводников. В дифференциальном режиме помехи воздействуют на оба проводника одинаково и разница напряжений между ними минимальна. Благодаря этому дифференциальный режим защищен от наведенных помех, однако такие линии остаются уязвимыми к кондуктивным помехам, которые распространяются по проводникам и могут негативно влиять на работу устройства. Были рассмотрены различные подходы к созданию защитных устройств, так в [1, 2] проведено исследование линий передачи в дифференциальном и синфазном режимах. В [3] исследовалась зеркально-симметричная (З-С) структура, результаты исследований показали, что З-С структура подходит для защиты дифференциальных линий передачи. Также для увеличения электромагнитной совместимости используют электромагнитный поглотитель (ЭП), так в [4] результаты показали, что при добавлении ЭП улучшаются помехоподавляющие свойства. В [5] исследовалась подобная структура с точки зрения вносимых потерь при добавлении ЭП. Однако в данных работах не проводилось исследование добавления ЭП к З-С структуре, а также не был проведен лабораторный эксперимент. Целью работы является экспериментальное исследование З-С структур с ЭП.

Экспериментальная часть

Для исследования выбрана З-С структура с параметрами $w = 650$ мкм, $s = 2,5$ мм, $h_1 = 210$ мкм, $h_2 = 500$ мкм, $\varepsilon_{r2} = 4,5$, $\varepsilon_{r1} = 4,4$ [6]. На рис. 1 представлены поперечные сечения для исследуемой структуры без ЭП и с ним, со всеми вариантами расположения ЭП. Далее в тексте используются следующие обозначения для исследуемых структур: без ЭП – модель 1, с ЭП сверху – модель 2, с ЭП с двух сторон – модель 3.

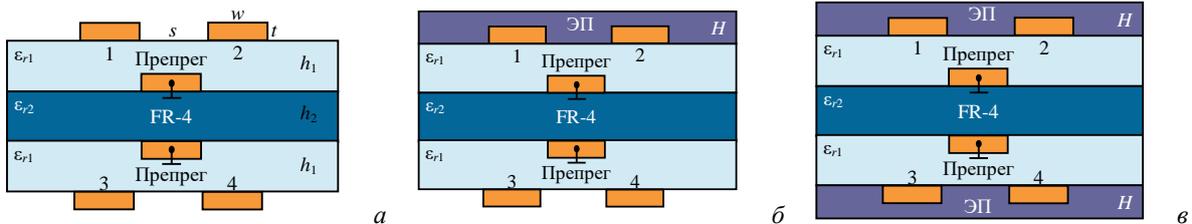


Рис. 1. Поперечное сечение моделей 1 (а), 2 (б) и 3 (в)

В качестве ядра и препрега использовался стеклотекстолит FR-4 с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{r2} = 4,5$ и $\epsilon_{r1} = 4,4$, соответственно. В качестве ЭП выбран магнитодиэлектрический материал ЗИПСИЛ 601-РПМ-01 с параметрами, представленные в [7] и толщиной $H = 0,8$ мм.

Проведение лабораторного эксперимента.

На рис. 2 представлены измерительная установка и её схема включения. Эксперимент проводился с использованием векторного анализатора цепей (ВАЦ) P4M-18/1. Перед началом измерений была выполнена двухпортовая SOLT-калибровка для устранения систематических погрешностей, а также учета влияния кабелей.

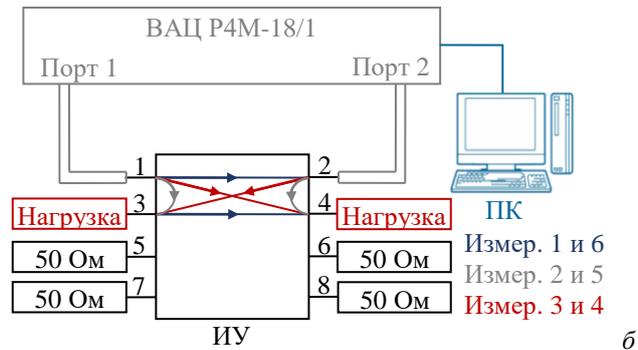
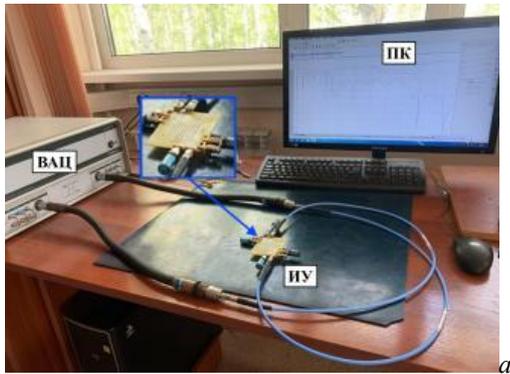


Рис. 2. Измерительная установка (а) и её схема включения (б)

Результаты

На рис. 3 представлены результаты эксперимента во временной и частотной областях. В качестве импульсного воздействия использовалась сверхширокополосная помеха с амплитудой э.д.с. равной 1 В и частотным спектром от 0,1 до 6 ГГц.

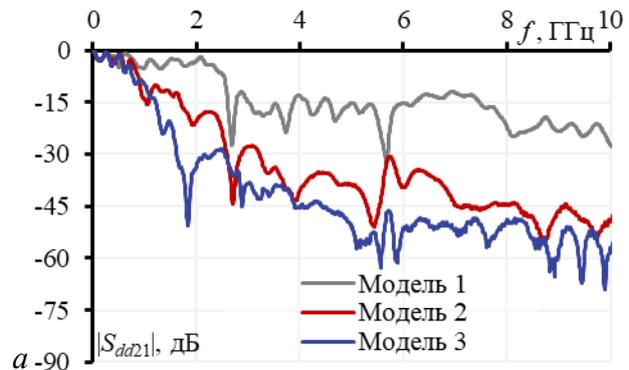
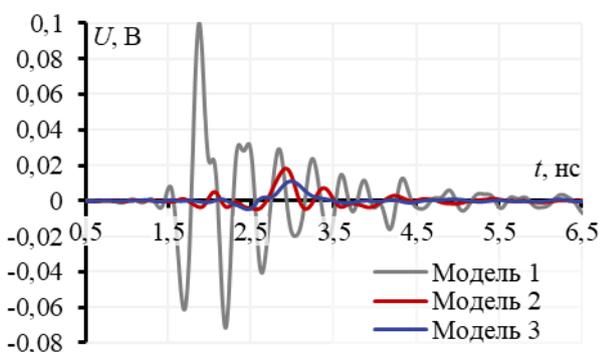


Рис. 3. Результаты эксперимента во временной (а) и частотной (б) областях

Из рис. 3 видно, что в модели 2, амплитуда помехи уменьшилась в 5,3 раза, в модели 3 – 8,3 раза, по сравнению с моделью 1. Время прихода помехи при добавлении ЭП

сверху увеличилось в 1,13 раза и составило 1,8 нс, при добавлении ЭП с двух сторон – 1,44 раза (2,3 нс). Анализ в частотной области показал, что при добавлении ЭП изменения значения коэффициента передачи $|S_{dd21}|$ в полосе пропускания незначительны, а в полосе заграждения значения уменьшаются более чем в 3 раза, что говорит о более эффективном подавлении помех в этой области.

Заключение

В данной работе экспериментально исследована 3-С структура с добавлением ЭП с одной и с двух сторон в дифференциальном режиме передачи. Проведен лабораторный эксперимент, в котором проанализированы временные и частотные характеристики исследуемой структуры. Установлено, что добавление ЭП значительно снижает уровень помех, улучшая помехозащищенность линии передачи.

Работа выполнена в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

Список литературы

1. Костелецкий В.П., Заболоцкий А.М. Полосковая структура, защищающая от сверхкоротких импульсов в дифференциальном и синфазном режимах // Системы управления, связи и безопасности. – 2021. – № 2. – С. 130–141.
2. Лакоза А.М., Костелецкий В.П., Заболоцкий А.М. Вычисление временных откликов экранированного модального фильтра из двух каскадов в дифференциальном и синфазном режимах на воздействие типовых сверхкоротких импульсов // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – Томск: В-Спектр, 2021. – С. 47–49.
3. Жечев Е.С., Черникова Е.Б., Белоусов А.О., Газизов Т.Р. Экспериментальные исследования зеркально-симметричного модального фильтра во временной и частотной областях // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 2. – С. 162–179.
4. Власов С.В., Жечев Е.С., Заболоцкий А.М. Анализ характеристик зеркально-симметричной полосковой структуры в дифференциальном режиме // Журнал радиоэлектроники. – 2025. – № 1.
5. Трубоченинов, В.А., Власов С.В. Анализ диссипативных потерь в зеркально-симметричном модальном фильтре с электромагнитным поглотителем // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник научных трудов XXI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2024. – С. 163–165.
6. Власов С.В. Анализ четырехслойного зеркально-симметричного модального фильтра в синфазном и дифференциальном режимах // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – Томск: В-Спектр, 2022. – С. 256–258.
7. Трубоченинов, В.А., Власов С.В., Жечев Е.С., Заболоцкий А.М. Методы компоновки электромагнитных поглотителей в структурах малогабаритных модальных фильтров // Журнал радиоэлектроники. – 2024. – № 10.

Исследование возможностей ускорения расчета рассеянных радиоволн

Ю.А. Уланова, А.О. Сафонова, В.В. Маркин

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.П. Преображенский

Воронежский институт высоких технологий,

Россия, г. Воронеж, ул. Ленина, 73а, 394043

E-mail: app@vvt.ru

Investigation of the possibilities of speeding up the calculation of scattered radowaves

Yu.A. Ulanova, A.O. Safonova, V.V. Markin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.P. Preobrazhenskiy

Voronezh Institute of High Technologies, Russia, Voronezh, Lenina str., 73a, 394043

E-mail: app@vvt.ru

Abstract. The paper discusses the assessment of the level of scattered electromagnetic fields. Proposals are given to accelerate this process based on the appropriate algorithm. An estimate of the accuracy of the resulting solution is presented.

Key words: radio wave scattering, integral equation, simulation.

Введение

В современных системах радиосвязи радиоволны могут испытывать процессы рассеяния на сложных объектах. Необходимо проводить оценки уровня рассеянных полей. Это необходимо, например, для обеспечения электромагнитной совместимости. Целью данной работы является разработка предложений по ускорению расчета рассеянных электромагнитных полей на основе интегральных уравнений.

Экспериментальная часть

Рассмотрим рассеяние плоской радиоволны на сложном объекте (рис. 1). Он имеет идеально проводящую поверхность S .

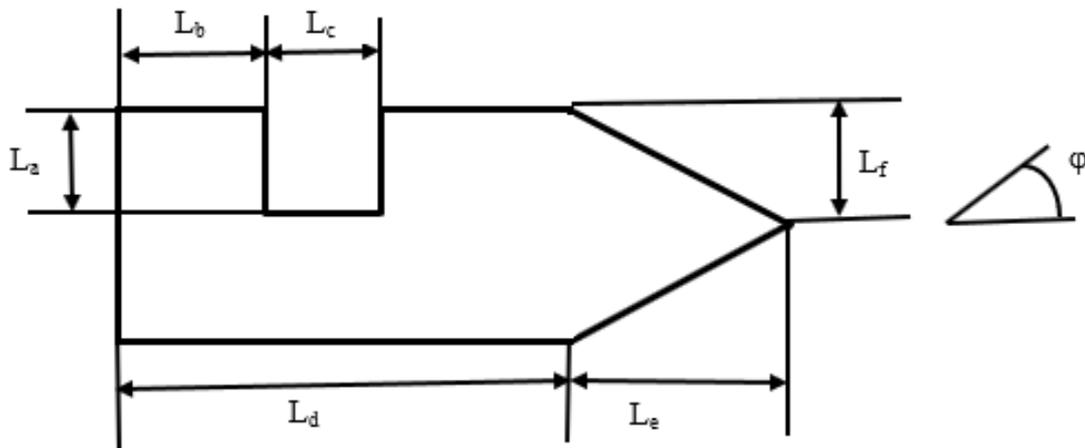


Рис. 1. Схема рассеяния электромагнитной волны на объекте

При этом есть внешняя нормаль \mathbf{n} , которая будет в каждой из точек поверхности. Интегральное уравнение магнитного поля записывается следующим образом [1]:

$$2[\mathbf{n} \times \mathbf{H}^i(\mathbf{x})] = \mathbf{J}(\mathbf{x}) - \frac{1}{2\pi} \mathbf{n} \times \int_S \mathbf{J} \times \text{grad}' \Psi ds', \mathbf{x} \in S. \quad (1)$$

На поверхности S наблюдается магнитное поле $\vec{H}^i(\vec{x})$, волна характеризуется длиной λ . Между точками наблюдения и интегрирования введено расстояние r , также $\Psi = \exp(-jkr)/r$. Искомый поверхностный ток, который будет наводиться, имеет плотность $\vec{J}(\vec{x})$. Для точек интегрирования величины и операции обозначены штрихами. Когда решается задача рассеяния электромагнитных волн, то интеграл, который приведен в правой части, будет представляться на основе квадратурной суммы на основе метода квадратур [2]:

$$\frac{1}{2\pi} \int_S \vec{J}' \times \text{grad}' \Psi ds' = \int_S \vec{g} ds' = \sum_{n=1}^N c_n \vec{g}_n + \bar{\Delta}, \quad (2)$$

В ней указаны весовые коэффициенты c_n , в квадратурной формуле используется N узлов. Значение \vec{g}_n соответствует выбранному узлу. Считаем, что $\bar{\Delta}$ определяет погрешность расчета интеграла. Значение погрешности $\bar{\Delta}$ может оказаться весьма большим при сближении точек интегрирования и наблюдения. Требуется это учесть в разрабатываемом нами подходе.

На поверхности анализируемого объекта S осуществим задание системы криволинейных координат (v, u, p) . Первая ось v нормальна к поверхности. Две другие к ней касательные. Плотность поверхностного тока такая

$$\vec{J} = (\vec{u}_0 \cdot \vec{J}) \vec{u}_0 + (\vec{p}_0 \cdot \vec{J}) \vec{p}_0, \quad (3)$$

здесь орты, соответствующие координатным осям u и p , будут \vec{u}_0 и \vec{p}_0 . Используем обозначения:

$$\vec{U} = \vec{n} \times [\vec{u}'_0 \times \text{grad}' \Psi]; \quad \vec{P} = \vec{n} \times [\vec{v}'_0 \times \text{grad}' \Psi]. \quad (4)$$

В формулах нижний индекс u и p будет соответствовать проекции вектора с началом в точке наблюдения на анализируемые координатные оси. Если начало вектора в точке интегрирования, то индекс будет внизу. В случае рассмотрения тока $\vec{J}(\vec{x})$ его запись будет следующей

$$J_u = (\vec{u}_0 \cdot \vec{J}(\vec{x})), \quad J_u = (\vec{u}'_0 \cdot \vec{J}(\vec{x})), \quad J_p = (\vec{p}_0 \cdot \vec{J}(\vec{x})), \quad J_p = (\vec{p}'_0 \cdot \vec{J}(\vec{x})). \quad (5)$$

Орты, которые рассматриваются в точке наблюдения, обозначаются как \vec{u}_0 и \vec{p}_0 . Тогда можно с учетом координатных составляющих u и p по точке наблюдения представить (1) следующим образом

$$2[\vec{n} \times \vec{H}^i]_u = J_u - \frac{1}{2\pi} \int_S (J_u U_u + J_p P_u) ds'. \quad 2[\vec{n} \times \vec{H}^i]_p = J_p - \frac{1}{2\pi} \int_S (J_u U_p + J_p P_p) ds'. \quad (6)$$

Проведем анализ интеграла

$$G = \frac{1}{2\pi} \int_S J^u U_u ds'. \quad (7)$$

В нем сингулярная компонента представляется так

$$G = \frac{1}{2\pi} \int_S (J^u - J_u) U_u ds' + \frac{1}{2\pi} \int_S J_u U_u ds'. \quad (8)$$

При этом J_u соответствует точке наблюдения, это величина, которая не зависит от координат точек интегрирования, если проведено задание координат. На основе квадратурной формулы запишем регулярную компоненту (8) следующим образом

$$\frac{1}{2\pi} \int_S (J^u - J_u) U_u ds' = \sum_{n=1}^N c_n (J^{un} - J_u) U_{un}. \quad (9)$$

после преобразований

$$G = \sum_{n=1}^N c_n J_{un} U_{nu} + J_u \left(\frac{1}{2\pi} \int_S U_u ds' - \sum_{n=1}^N c_n U_{nu} \right) = \sum_{n=1}^N c_n J_{un} U_{nu} + J_u \Delta_u(U_u). \quad (10)$$

Действуя аналогичным образом по другим компонентам в (6), получим

$$2[\vec{n} \times \vec{H}^i]_u = J_u - \sum_{n=1}^N c_n J_{un} U_{nu} - \sum_{n=1}^N c_n J_{un} P_{nu} - J_u \Delta_u(U_u) - J_p \Delta_u(P_u),$$

$$2[\vec{n} \times \vec{H}^i]_p = J_p - \sum_{n=1}^N c_n J_{un} U_{np} - \sum_{n=1}^N c_n J_{un} P_{np} - J_u \Delta_p(U_p) - J_p \Delta_p(P_p), \quad (11)$$

Есть связь коэффициентов c_n с весами квадратурных формул для координат u и p , а также со значением оператора преобразования элемента площади поверхности.

В ходе рассмотрения выражений (11) можно определить механизмы, на основе которых проводится расчет и учет поправок $\Delta_i(U_i, P_i)$. Если осуществляется переход от (1) к матричному виду, то возникают N уравнений. Возникает матрица $2N \times 2N$, поскольку u и p есть в (11) по любой компоненте. Поправки $\Delta_u(U_p)$ и $\Delta_p(P_u)$ соответствуют поддиагоналям. Поправки $\Delta_u(U_u)$ и $\Delta_p(P_p)$ соответствуют главной диагонали по членам вне интегралов. Необходимо с максимальной точностью вычислить интегралы от U_u, U_p, P_u, P_p .

Чтобы особенность в интегралах преодолеть, необходимо осуществлять разбиение окрестности точки, в которой наблюдается особенность, на подинтервалы. При этом на каждом из подинтервалов для квадратурной формулы важно задавать размерность такую, чтобы по интегралам была обеспечена приемлемая сходимость.

Результаты

Рассматривался объект со следующими размерами $L_a = 3\lambda, L_b = 5\lambda, L_c = 3\lambda, L_d = 12\lambda, L_e = 5\lambda, L_f = 5\lambda$. Поверхность объекта разбивалась на 7150 точек. Тогда в ходе решения задачи получалась погрешность в определении невязки [3] 0,015 %, если сравнивать с точным решением. Если для того же количества точек использовать простейшую квадратурную формулу прямоугольников, значение погрешности было 0,011 %, Значение невязки дано в табл. 1.

Таблица 1

Значение невязки

	Число точек, N		
	4550	5350	7150
Значение невязки для E-поляризации, %	0,11	0,073	0,015
Значение невязки для H-поляризации, %	0,13	0,081	0,018

Заключение

Исследования показали, что предложенный подход позволил для сформированной системы уравнений уменьшить размерность в 4–7 раз. При этом погрешности будут такие же. В ходе расчетов можно использовать частоту в 2–2,5 раза больше при разработке устройств.

Список литературы

1. Преображенский А.П. Моделирование и алгоритмизация анализа дифракционных структур в САПР радиолокационных антенн. – Воронеж: Воронежский институт технологий, 2007. – 248 с.
2. Онегов Л.А. Метод механических квадратур для интегральных уравнений с неподвижной особенностью // Известия высших учебных заведений. Математика. – 2016. – № 7. – С. 83–91.
3. Алипов И.В., Кузнецов В.Л. Моделирование "тонкой" структуры вероятностного распределения невязок в показаниях АЗН-В и ВОРЛ. Некомпенсированная задержка // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 8–20.

Разработка виртуального анализатора качества системы усовершенствованного управления в нефтегазовой отрасли

А.В. Уфимцев

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.А. Филипас
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: avu34@tpu.ru

Development of a virtual quality analyzer for an advanced process system in the oil and gas industry

A.V. Ufimtsev

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. A.A. Filipas
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: avu34@tpu.ru

Abstract. *The relevance of this research work is emphasized by the need for constant quality control over the technological process in the oil and gas industry, primarily over the quality of products. To carry out this kind of control, it is proposed to design and use a virtual quality analyzer, which allows you to continuously and without significant capital investments in real time to obtain information about the quality of products and process parameters. This paper continues the research in the field of advanced management conducted by scientists from large petrochemical companies. The presented scientific work is exclusively educational and research in nature and is based on the already available results of qualified specialists in the field of mathematical industrial modeling.*

Key words: *virtual quality analyzer, identification, regulation, correlation, mathematical analysis.*

Введение

Традиционные методы анализа качества продукции в виде лабораторных анализов и поточных анализаторов зачастую оказываются недостаточно эффективными вследствие низкой частоты измерений, высокой стоимости анализа, влияния человеческого фактора, необходимостью периодической калибровки и регулярного обслуживания [1].

В данной работе в качестве альтернативного подхода для оценки значений трудноизмеримых параметров технологического процесса предлагается использовать алгоритмы дифференциальных измерений, на базе которых реализуются так называемые виртуальные анализаторы (ВА). По своей сути, виртуальные анализаторы – это математические модели, производящие косвенный расчет показателей качества технологического процесса на основе архивных производственных данных и данных лабораторных анализов [2].

В ходе эксплуатации виртуальные анализаторы качества имеет значимые преимущества перед другими подходами анализа качества, в виде непрерывности измерений, низкой стоимости внедрения и обслуживания. Единственное требования к данным анализаторам – это возможная периодическая корректировка при условии отсутствия параметров автонастройки [3].

Результаты

После выгрузки исторических данных в специализированном программном обеспечении проводим корреляционный анализ показывает, как сильно один параметр зависит от другого. Данное решение позволяет рассмотреть зависимость содержания альфаметилстирола и мономеров стирола в кубе по лабораторному анализу от технологических параметров. Результат анализа представлен на рис. 1.

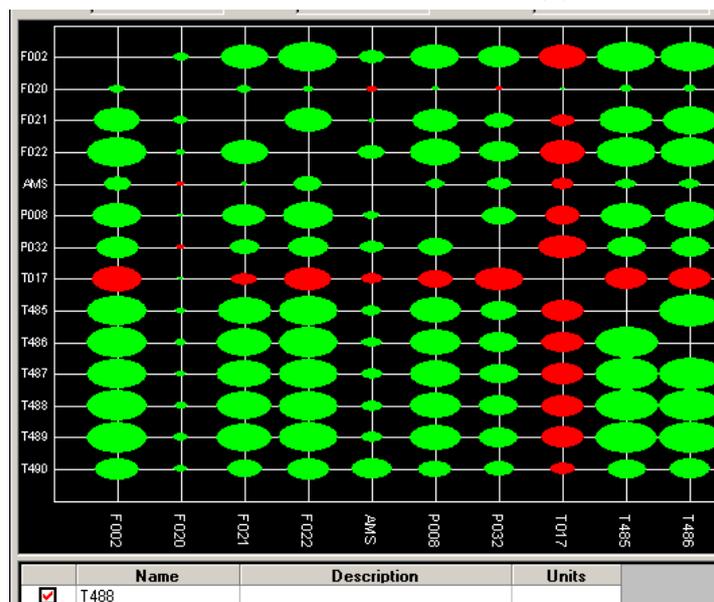


Рис. 1. Корреляционный анализ работы колонны C703

В данном окне статическая корреляция между переменными отображается в виде матрицы. Область каждой точки пропорциональна степени корреляции между двумя переменными. Зеленые точки означают положительную корреляцию, а красные точки – отрицательную. Как мы видим из представленного анализа наиболее зависимыми от содержания разделяемых продуктов в кубе являются температуры тарелок T485, T486.

На основе полученных данных, были выбраны три наиболее коррелирующих параметра, по которым и была построена математическая модель виртуального анализатора (рис. 2).

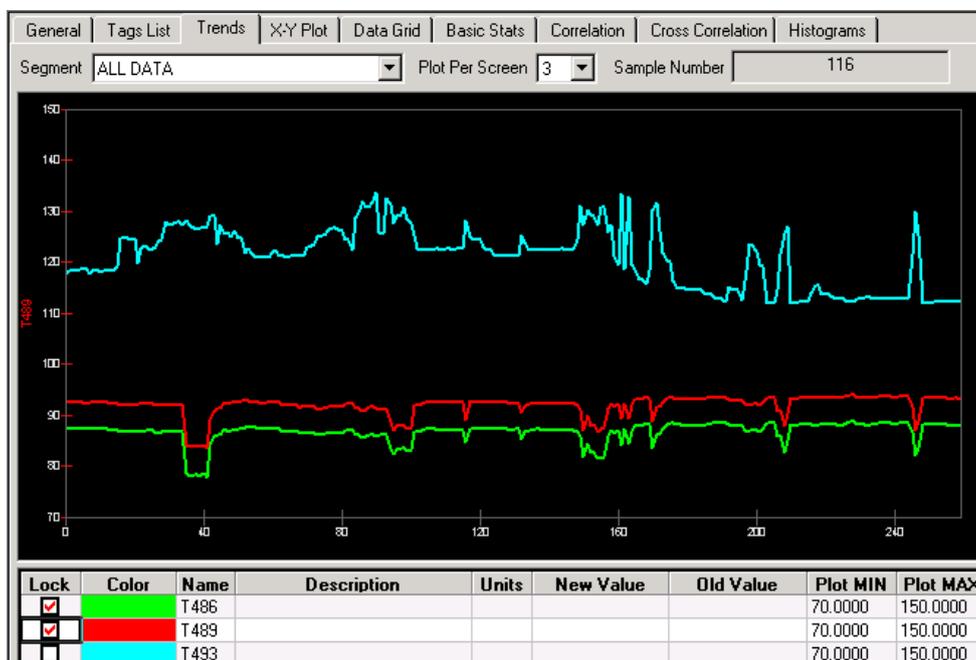


Рис. 2. Анализ трендовых групп параметров колонны газоразделения

Синяя линия – лабораторный анализ по альфметилстиролу в кубе колонны;
 Красная линия — виртуальный анализ по альфметилстиролу в кубе колонны;
 Зелёная линия — виртуальный анализ по стиролу в кубе колонны.

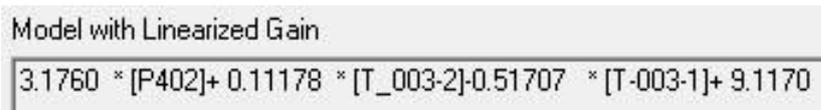
Как можно заметить из представленного графика, использование виртуального анализатора стабилизировало значения альфаметилстирола, снизило перерегулирование и зашумленность данного сигнала.

Основные способы определения качества построенной модели:

- 1) Визуально;
- 2) По различным статистическим критериям, таким как коэффициент детерминации, Index, MAPE и другие.

В нашем случае показатель $Index = 41$. Виртуальный анализатор приемлемым для технологических процессов нефтегазовой отрасли, при $Index < 100$.

Выше указано, как выглядит классическая формула ВА. Рассмотрим, как выглядит математически полученная формула для разработанного практически виртуального анализатора, представленная на рис. 3.



The image shows a screenshot of a mathematical formula titled "Model with Linearized Gain". The formula is: $3.1760 * [P402] + 0.11178 * [T_003-2] - 0.51707 * [T-003-1] + 9.1170$

Рис. 3. Математическая формула расчёта разработанного виртуального анализатора

Важно отметить, что виртуальные анализаторы являются альтернативой поточным анализатором (ПА), могут использоваться совместно или в качестве их резерва, и ни в коем случае не заменяют ПА и заводской лабораторный контроль. Результаты лабораторного контроля или ПА необходимы для обновления модели ВА в процессе эксплуатации в случае расхождения расчетных значений с фактическими анализами.

Комплекс виртуальных анализаторов может быть реализован в виде автономной системы виртуального мониторинга в виде подсказчика. Но более эффективным является использование ВА в контурах управления СУУТП совместно с прогнозирующей динамической моделью контроллера (MPC). Это позволяет управлять виртуальным анализатором непрерывно для получения большей эффективности и прибыли.

Заключение

Таким образом при помощи методов математического анализа и динамических моделей на основе дифференциальных уравнений первого и второго порядка был спроектирован виртуальный анализатор качества для колонны разделения альфаметилстирола и мономеров стирола. Как итог проведенного моделирования и исследование на примере работы колонны разделения альфаметилстирола и мономеров стирола показало экономическую эффективность и целесообразность практического применения данного решения. Что подтверждается анализом трендовых групп показателей целевых значений продуктов колонны – значительно снизились помехи, колебания параметров технологического процесса, скорректирована регламентная граница управления.

Список литературы

1. Патент RU 2176149C1 Система автоматического управления процессом ректификации / Г.М. Марушак, В.С. Кудряшов, Б.Г. Энтин, М.В. Алексеев, В.В. Кузьменко. Заявлено 01.12.2001; Оpubл. 27.11.2001. – 8 с.
2. Патент SU532849A1 Система для автоматического регулирования расхода кубового продукта в процессе ректификации / В.Р. Тучинский. Заявлено 15.11.1974; Оpubл. 25.10.1976. – 5 с.
3. Шумихин А.Г., Мусатов Д.А., Власов С.С., Немтин А.М., Плехов В.Г. Система усовершенствованного управления технологическими процессами с использованием пакетов AIDA, RQE, SMOС: Учебно-методическое пособие – Уфа: УГНТУ, 2021. – 95 с.

Кинетика изменений оптических свойств при облучении электронами порошка CaSiO_3 , модифицированного наночастицами Gd_2O_3

М.М. Михайлов, Д.С. Федосов, А.Н. Лапин

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: dmitrii.s.fedosov@tusur.ru

Kinetics of changes in optical properties during electron irradiation of CaSiO_3 powder modified with Gd_2O_3 nanoparticles

M.M. Mikhailov, D.S. Fedosov, A.N. Lapin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. M.M. Mikhailov

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

E-mail: dmitrii.s.fedosov@tusur.ru

Abstract. *This study examined the effect of modifying CaSiO_3 powder with Gd_2O_3 nanoparticles on the radiation resistance of its optical properties. The diffuse reflectance spectra of the original and modified pigment were recorded in situ before and after electron irradiation with a fluence of $(1, 2, 3, 5 \text{ и } 7) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. The main spectral changes were observed in the range of 200–800 nm. It was found that modification at a concentration of gadolinium oxide nanoparticles of 7 wt. % leads to a decrease in the defect concentration and an increase in radiation resistance, depending on the electron fluence.*

Key words: *spacecraft, thermoregulating coatings, radiation resistance, nanotechnology, calcium silicate, gadolinium oxide.*

Введение

В настоящее время актуальной является разработка терморегулирующих покрытий (ТРП), способных поддерживать температурный режим космических аппаратов на протяжении всего периода их активного функционирования (до 15–20 лет).

Силикат кальция (CaSiO_3) представляет особый интерес в качестве пигмента для ТРП благодаря широкой запрещённой зоне, высокой отражательной способности в солнечном спектре и более низкой стоимости по сравнению с традиционными пигментами, такими как ZnO и TiO_2 . Однако радиационная стойкость оптических свойств данных пигментов на основе CaSiO_3 остаётся практически неизученной.

Одним из наиболее эффективных способов увеличения радиационной стойкости оптических свойств материалов (как органических, так и неорганических) является модифицирование их наночастицами оксидных соединений [1].

Целью настоящей работы является исследование радиационной стойкости оптических свойств микропорошка силиката кальция (mCaSiO_3) модифицированного наночастицами оксида гадолиния (nGd_2O_3).

Экспериментальная часть

В работе использован порошок силиката кальция микронных размеров (mCaSiO_3) производства ООО «МИНЕРАЛ» (Россия) и нанопорошок оксида гадолиния nGd_2O_3 со средним размером частиц 20–30 нм, производства China rare metal material Co., LTD, (Китай)

Модифицирование mCaSiO_3 наночастицами nGd_2O_3 осуществляли твердотельным способом, методика получения модифицированного порошка, содержащего 7 масс. % nGd_2O_3 представлена ранее в работе [2].

Облучение образцов осуществляли в установке – имитаторе условий космического пространства «Спектр» электронами ($E = 30$ кэВ, $\Phi = (1, 2, 3, 5$ и $7) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, $T = 300$ К) при давлении $2 \cdot 10^{-6}$ торр. Спектры диффузного отражения (ρ_λ) регистрировали до и после облучения в вакууме (in situ). [2].

Интегральный коэффициент поглощения солнечного излучения (a_s) рассчитывали с использованием международных стандартов [3, 4].

Результаты

Спектры диффузного отражения (ρ_λ) до и после облучения электронами исходного и модифицированного наночастицами $n\text{Gd}_2\text{O}_3$ микропорошка $m\text{CaSiO}_3$ приведены на рис. 1.

Из рис. 1 следует, что край основного поглощения, исходного порошка $m\text{CaSiO}_3$ и модифицированного наночастицами порошка $m\text{CaSiO}_3/n\text{Gd}_2\text{O}_3$ расположен в области $\lambda \leq 200$ нм, что может быть связано с близкими значениями ширины запрещенной зоны микропорошка $m\text{CaSiO}_3$ и нанопорошка $n\text{Gd}_2\text{O}_3$ ($E_g \geq 5$ эВ) [5, 6].

Коэффициент отражения при этом увеличивается с ростом длины волны: от 63 до 89 % для исходного порошка и от 25 до 93 % для модифицированного порошка. В видимой и ближней ИК областях спектра изменения коэффициента отражения являются незначительными и не превышают 3–4%. В области от 2200 нм коэффициент отражения уменьшается до 82 и 84 % соответственно.

Регистрируемые полосы поглощения при 1410, 1920 и 1940 нм, могут быть вызваны наличием гидроксо-групп, сорбированных на поверхности порошка [7].

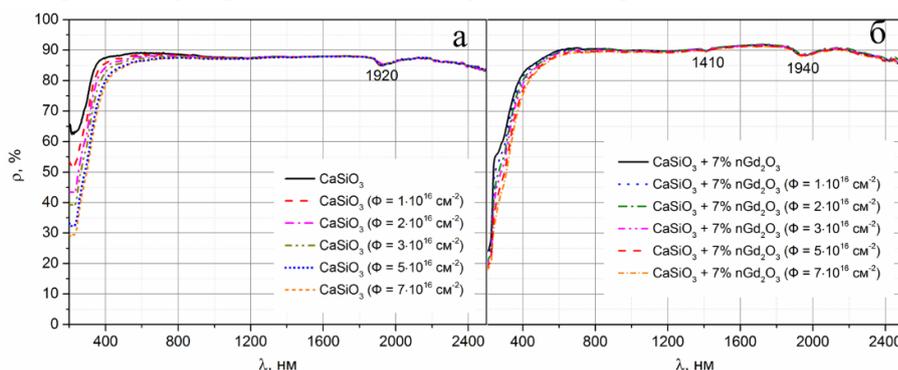


Рис. 1. Спектры диффузного отражения до и после облучения электронами с энергией 30 кэВ и $\Phi = (1-7) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ порошков $m\text{CaSiO}_3$ (а) и $m\text{CaSiO}_3 + 7$ масс. % Gd_2O_3 (б)

Облучение электронами исходного и модифицированного $m\text{CaSiO}_3$ приводит к уменьшению коэффициента отражения в области 200–800 нм. Так, при $\Phi = 7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ для исходного и модифицированного порошков коэффициент отражения уменьшается до 29,2 % и 17,8 % соответственно. В более длинноволновой области (от 800 нм) изменения коэффициента отражения после облучения электронами практически отсутствуют.

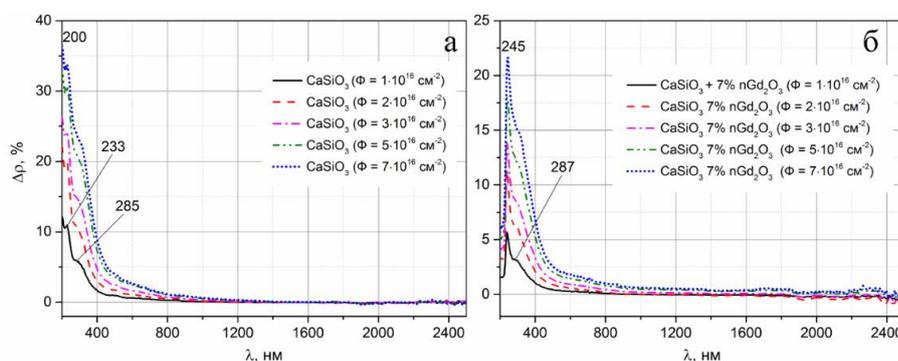


Рис. 2. разностные спектры диффузного отражения после облучения электронами с энергией 30 кэВ и $\Phi = (1-7) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ порошков $m\text{CaSiO}_3$ (а) и $m\text{CaSiO}_3 + 7$ масс. % Gd_2O_3 (б)

На рис. 2 представлены разностные спектры диффузного отражения ($\Delta\rho_\lambda$), полученные вычитанием спектров после облучения из спектров до облучения порошков. Приведенные спектры являются спектрами поглощения, наведенного в порошках под действием излучения, полосы поглощения, регистрируемые в спектрах, могут быть вызваны различными радиационными дефектами, образовавшимися во время облучения.

Так, отсутствие полосы при 200 нм после облучения модифицированного порошка CaSiO_3 наночастицами Gd_2O_3 может свидетельствовать о уменьшении концентрации дефектов, возникших при облучении исходного порошка CaSiO_3 . Релаксация дефектов может протекать за счет двух процессов: – релаксации на поверхности наночастиц, как дефектов кристаллической структуры порошка CaSiO_3 ; – релаксации на катионах РЗЭ с незаполненной f-оболочкой.

Коэффициенты эффективности модифицирования, определяемый отношением значений интегрального коэффициента поглощения не модифицированного порошка к соответствующим значениям для модифицированного порошка в зависимости от флюенса электронов (1, 2, 3, 5 и 7) $\cdot 10^{16}\text{см}^{-2}$ равен – 1,97; 1,79; 1,51; и 1,36, соответственно.

Заключение

Полученные данные показывают, что модифицирование микропорошка $m\text{CaSiO}_3$ наночастицами $n\text{Gd}_2\text{O}_3$ приводит:

- к уменьшению отражательной способности в УФ и видимой областях спектра;
- к уменьшению концентрации первичных дефектов, образованных при облучении электронами;
- к увеличению радиационной стойкости при облучении электронами с энергией 30 кэВ, и флюенсом (1, 2, 3, 5 и 7) $\cdot 10^{16}\text{см}^{-2}$.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Госзадания № FEWM-2023-0012 Министерства науки и Высшего образования РФ.

Список литературы

1. Михайлов М.М., Юрьев С.А., Лапин А.Н., Горончко В.А., Утебеков Т.А. Радиационная стойкость оптических свойств порошка диоксида циркония, модифицированного наночастицами диоксида церия // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2023. – Т. 66, № 6. – С. 133–135.
2. Михайлов М.М., Горончко В.А., Юрьев С.А., Лапин А.Н., Федосов Д.С. Влияние модифицирования наночастицами Gd_2O_3 на радиационную стойкость и оптические свойства микропорошка CaSiO_3 // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIX Международной научно-практической конференции (15–17 ноября 2023 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр (ИП Бочкарева В.М.), 2023. – С. 163–165.
3. ASTM E490-00a Standard Solar Constant and Zero Air Mass Solar Spectral Irradiance Tables. – 2005.
4. ASTM E490-00a Standard Solar Constant and Zero Air Mass Solar Spectral Irradiance Tables. – 2019.
5. Jiang N., Denlinger J.D., Spence J.C.H. Electronic structure and oxygen bonding in CaSiO_3 silicate // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2003. – Vol. 15, № 32. – P. 5523.
6. Kuznetsova Y.A., Zatsepin A.F. Optical properties and energy parameters of Gd_2O_3 and Gd_2O_3 : Er nanoparticles // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 917, № 6. – P. 062001.
7. Kuznetsov V.N., Serpone N. On the origin of the spectral bands in the visible absorption spectra of visible-light-active TiO_2 specimens analysis and assignments // The Journal of Physical Chemistry C. – 2009. – Vol. 113, № 34. – P. 15110–15123.

Интеллектуальная система освещения на основе IoT и компьютерного зрения

П.В. Шачнева

Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.Б. Туранов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: pvs22@tpu.ru

Intelligent lighting system based on IoT and computer vision

P.V. Shachneva

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. S.B. Turanov
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: pvs22@tpu.ru

Abstract. The study is devoted to the development of an adaptive lighting system based on automated data processing and control systems. A methodology for investigating the influence of the spectral composition of lighting on cognitive functions, productivity, and human fatigue has been proposed. The experiment utilized specialized tests, pulse measurement, and questionnaires to assess physiological and psychoemotional responses. The obtained results will form the basis of a database for creating personalized lighting regimes aimed at optimizing user performance and comfort

Key words: lighting, biodynamics, intelligent control system, color temperature.

Введение

Современные технологии, такие как интеллектуальные системы управления и интернет вещей (IoT), открывают новые возможности для создания биодинамического освещения, которое адаптируется к естественным биологическим ритмам человека. Биодинамическое освещение предполагает изменение интенсивности, спектра и цветовой температуры света в течение дня, что способствует улучшению самочувствия, повышению продуктивности и поддержанию циркадных ритмов. В условиях роста урбанизации и увеличения времени, проводимого в помещениях, такие системы могут стать важным инструментом для обеспечения комфортной светоцветовой среды. Недостаток естественного освещения негативно влияет на циркадные ритмы, нарушая выработку ключевых гормонов, таких как мелатонин и кортизол [1]. Многочисленные исследования подтверждают, что световые воздействия также влияют на иммунную и нервную системы, метаболические процессы и другие физиологические функции [2].

Информационные технологии позволяют создать систему управления, базовая схема которой, предложена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема интеллектуальной системы освещения

Первый модуль включает управляемые световые приборы с белыми светодиодами, цветовая температура которых варьируется от 2700 до 6000 К. Это позволяет регулировать интенсивность и спектральный состав освещения.

Второй модуль содержит контроллер и источник питания. Контроллер обрабатывает данные от датчиков и системы компьютерного зрения, управляя световыми приборами. Для реализации предложенной схемы можно использовать DALI контроллер, преобразователь DALI-ШИМ и источники питания с поддержкой управления по ШИМ. Это обеспечит гибкость управления параметрами освещения и сократит расходы за счет отказа от дорогостоящих источников питания поддерживающих DALI.

Третий модуль включает датчики и систему компьютерного зрения для сбора данных о пользователе и окружающей среде. Датчики фиксируют температуру, влажность и освещенность, а система компьютерного зрения анализирует состояние пользователя (диаметр зрачка, частоту морганий, выражение лица). Для связи используются IoT-платформы и беспроводные сети (Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth).

Четвертый модуль представляет базу данных с оптимальными режимами освещения, разработанными на основе анализа влияния освещения на когнитивные функции, продуктивность и утомляемость. Это позволяет персонализировать освещение под индивидуальные потребности пользователя.

Экспериментальная часть

Реализация системы требует предварительного формирования фотометрических и спектральных режимов освещения, составляющих основу базы данных. Для этого необходимы экспериментальные исследования, первые результаты которых представлены в данной работе. Однако из-за различий в индивидуальном восприятии света и ограниченности методологических подходов данные исследований остаются противоречивыми. Это требует проведения экспериментов, сочетающих анализ объективных показателей (пульс, моргание, реакция зрачков) и субъективных данных (анкеты, тесты, опросы).

В исследовании приняли участие жители города Томска в возрасте от 20 до 23 лет, включая представителей обоих полов. Участники являются студентами без выявленных нарушений зрения. Эксперименты проводились с использованием разработанной исследовательской установки [3]. Средняя продолжительность одной серии экспериментов составляла 45 минут. Серия предполагала проведение измерений при различных уровнях цветовой температуры освещения, а именно: 2700 К, 4000 К, 5000 К и 6000 К.

Физиологические реакции участников регистрировались с использованием нагрудного пульсометра. Пример регистрации измерений представлен в табл. 1. Наблюдатель регистрировал время прохождения каждого этапа с точностью до секунд.

Таблица 1

Результаты измерений пульса и общего времени одной серии экспериментов

Номер эксперимента	Пол	Возраст	Минимальный пульс	Максимальный пульс	Средний пульс	Продолжительность эксперимента
1	Ж	22	73	103	82	228
2			70	89	77	248
3			66	90	77	229
4			70	87	77	209

Для оценки когнитивных функций применялся комплекс из пяти тестов: поиск пути (А и Б), символьная расшифровка, поиск ошибок и различение цветов. Данные методики направлены на анализ таких аспектов когнитивной деятельности, как скорость обработки информации, пространственно-зрительная реакция, уровень концентрации внимания и другие параметры.

Результаты

Когнитивные функции оценивались по результатам тестов 1–5. Время их выполнения при четырех режимах освещения показано на рис. 2. Хотя влияние цветовой температуры требует статистического анализа, уже на примере одного испытуемого видно, что при 6000 К тесты выполняются быстрее, чем при других режимах. Однако при этой температуре отмечалась повышенная усталость глаз.

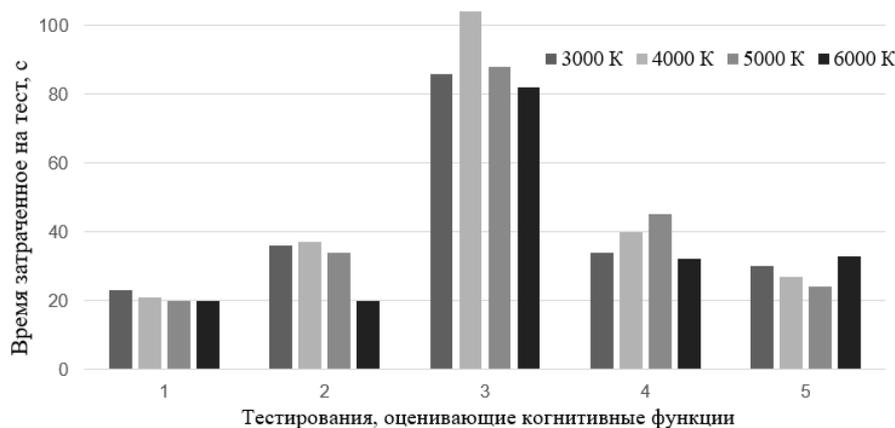


Рис. 2. Зависимость времени прохождения теста от цветовой температуры освещения

Эксперименты выявили влияние цветовой температуры освещения на когнитивные функции и физиологические реакции. Полученные данные подчеркивают необходимость дальнейшего изучения и внедрения адаптивных систем освещения. Важно систематически расширять базу данных, включая новые зависимости между реакциями пользователей и параметрами освещения.

Заключение

Предложенная схема адаптивной системы освещения интегрирует компьютерное зрение и датчики для мониторинга окружающей среды и физиологических реакций пользователей. Это позволяет в реальном времени регулировать цветовую температуру и уровень освещенности на основе собранных данных. Такой подход повышает продуктивность и когнитивные способности, делая систему универсальной и персонализированной. Персонализированные режимы освещения, учитывающие индивидуальные реакции, создают комфортную и здоровую среду, что особенно важно в условиях урбанизации. Внедрение таких технологий улучшает качество жизни и повышает энергоэффективность, делая их актуальными для современных городов и зданий.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-28-20162, <https://rscf.ru/project/25-28-20162/>.

Список литературы

1. Chen S., Wei M., Dai Q., Huang Y. Estimation of possible suppression of melatonin production caused by exterior lighting in commercial business districts in metropolises // LEUKOS. – 2020 – Vol. 16, № 2, P. 137–44.
2. Houser, K.W.; Boyce, P.R.; Zeitzer, J.M.; Herf, M. Human-Centric Lighting: Myth, Magic or Metaphor? // Light. Res. Technol. – 2021. – Vol. 53. – P. 97–118.
3. Шачнева П.В., Колесникова В.А. Осветительная установка для улучшения условий труда работников офиса // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов: в 8 ч. / под ред. Е.В. Захаровой. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2025. – Ч. 3. – С. 111.

УДК 621.382.323

Моделирование процесса формирования затвора транзистора с высокой подвижностью электронов по технологии GaN Sidewall Dielectric Spacers

А.Е. Шестериков, Д.А. Шестерикова

Научный руководитель: профессор, д.т.н. П.Е. Троян
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: shesterikov.a.e@mail.ru

Simulation of the gate formation process of a high electron mobility transistor using GaN Sidewall Dielectric Spacers technology

A.E. Shesterikov, D.A. Shesterikova

Scientific Supervisor: Prof., Dr. P.E. Troyan
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: shesterikov.a.e@mail.ru

***Abstract.** The paper presents the results of modeling the formation of a T-shaped gate of a high electron mobility transistor based on gallium nitride using a sidewall dielectric spacers for mass production of MMICs. It was found that to achieve a transistor gate length of 0.25 μm , the thickness of the second Si_3N_4 layer should be greater than 200 nm. At the same time, it is desirable to select the minimum etching time sufficient for complete removal of Si_3N_4 from the window in the dielectric mask, since excessive increase of etching time leads to thinning of the passive coating and may cause the device failure in the future.*

***Key words:** sidewall dielectric spacers, GaN, Si_3N_4 , HEMT, gate length*

Введение

За последние два десятилетия технология мобильной связи стремительно развивалась, начиная с 2G в 1990 году и внедрением 3G в 2000 году, а затем развертыванием услуги 4G в 2011 году и до сегодняшнего дня [1–3]. Мировые исследовательские институты также начали инвестировать в исследования и разработки для технологий 5G+ и 6G. Для дальнейшего развития систем связи требуются мощные усилители, которые все чаще изготавливают на основе нитрида галлия. Технология GaN HEMT может применяться в высокочастотных усилителях мощности и рассматривается различными производителями как важная технология изготовления приборов.

В массовом производстве GaN монолитных интегральных схем (МИС) самой сложной и времязатратной операцией является формирование T-образного затвора. При размере затвора менее 0,5 мкм стандартная контактная оптическая литография не позволяет обеспечить требуемую разрешающую способность при формировании окон в маске фоторезиста. В связи с этим, большинство производителей используют электронно-лучевую литографию (ЭЛЛ) для прорисовки затворов менее 0,5 мкм [4]. В результате увеличивается время, затрачиваемое на производство СВЧ МИС, а как следствие, и их стоимость.

Целью данной работы является моделирование технологии формирования T-образного затвора с длиной 0,25 мкм по технологии sidewall dielectric spacers без использования электронно-лучевой литографии для массового производства мощных GaN СВЧ транзисторов.

Экспериментальная часть

На первом этапе технологического процесса sidewall dielectric spacers [5] в первом слое диэлектрика Si_3N_4 формируется окно шириной 0,5 мкм методом проекционной фотолитографии с последующим анизотропным реактивным ионным травлением. Затем на полученную структуру конформно осаждается второй слой Si_3N_4 в установке PECVD (plasma

enhanced chemical vapor deposition). После этого проводится анизотропное реактивное ионное травление по всей площади пластины до первого слоя Si_3N_4 . В результате, за счет большей толщины диэлектрика в боковых областях исходного окна, образуются дополнительные боковые спейсеры из нитрида кремния, что позволяет уменьшить эффективную длину затвора транзистора без использования ЭЛЛ.

Толщина первого слоя Si_3N_4 должна быть равна высоте ножки затвора транзистора $h_{\text{SiN1}} = h_g = 100$ нм. Ключевыми параметрами при получении окна подзатворной области являются: толщина второго слоя Si_3N_4 (h), а также время травления (t_{etch}) на установке реактивного ионного травления Oxford. Для определения зависимости ширины окна подзатворной области (W) от h и t_{etch} было проведено моделирование в программном комплексе Synopsys TCAD. При моделировании скорости осаждения и травления Si_3N_4 были приняты равными 0,1 мкм/мин. При этом осаждение PECVD являлось конформным, а травление анизотропным.

Результаты

На рис. 1 представлена эволюция структуры диэлектрика в рамках проведения технологических операций при толщине второго слоя Si_3N_4 100 нм.

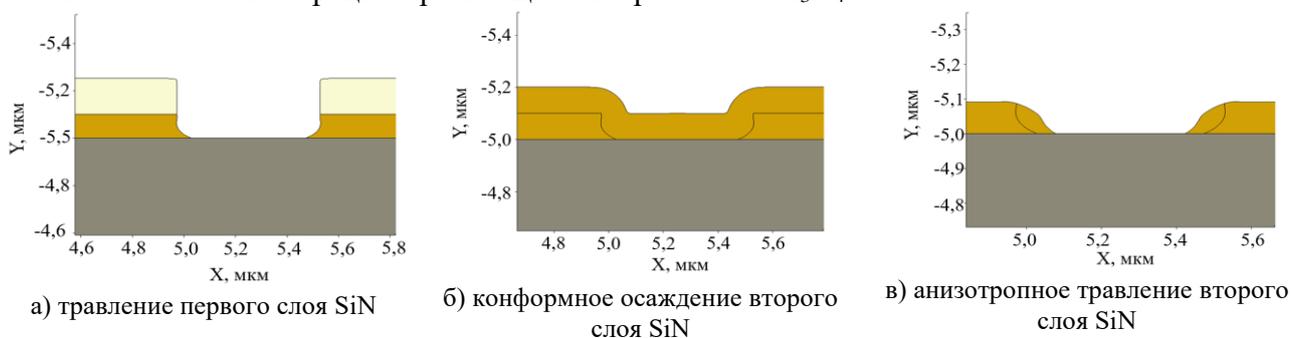


Рис. 1. Эволюция структуры диэлектрика в рамках проведения технологических операций при толщине второго слоя Si_3N_4 100 нм

В табл. 1 представлены результаты определения ширины окна подзатворной области в зависимости от толщины второго слоя Si_3N_4 и времени травления.

Таблица 1

Результаты определения ширины окна подзатворной области в зависимости от толщины второго слоя Si_3N_4 и времени травления

$h = 100$ нм	t_{etch} , МИН	1,00	1,10	1,20	1,30
	W , МКМ	–	0,347	0,375	0,400
$h = 125$ нм	t_{etch} , МИН	1,25	1,35	1,45	1,55
	W , МКМ	–	0,312	0,347	0,368
$h = 150$ нм	t_{etch} , МИН	1,50	1,60	1,70	1,80
	W , МКМ	–	0,296	0,321	0,346
$h = 175$ нм	t_{etch} , МИН	1,75	1,85	1,95	2,05
	W , МКМ	–	0,265	0,298	0,317
$h = 200$ нм	t_{etch} , МИН	2,00	2,10	2,20	2,30
	W , МКМ	–	0,242	0,275	0,305
$h = 225$ нм	t_{etch} , МИН	2,25	2,35	2,45	2,55
	W , МКМ	–	0,220	0,251	0,284
$h = 250$ нм	t_{etch} , МИН	2,50	2,60	2,70	2,80
	W , МКМ	–	0,197	0,231	0,267

На рис. 2 представлена зависимость ширины окна в маске от толщины второго слоя Si_3N_4 и времени травления.

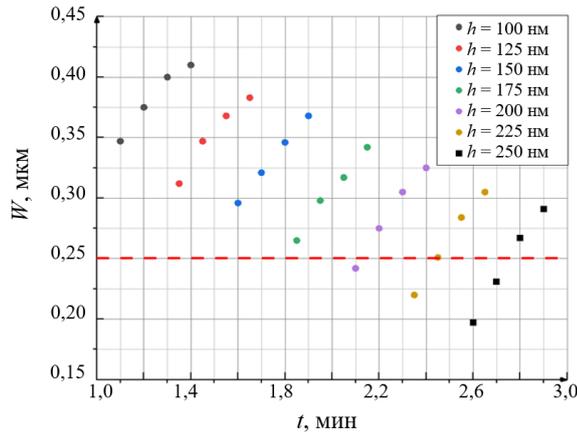


Рис. 2. Зависимость ширины окна в маске от толщины второго слоя Si_3N_4 и времени травления

Для пересчета времени травления через реальную скорость травления Si_3N_4 в установке Oxford можно воспользоваться соотношением:

$$\left. \begin{aligned} t_{\text{мод}} &= \frac{h}{V_{\text{тр_мод}}} \\ t_{\text{реал}} &= \frac{h}{V_{\text{тр_реал}}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{t_{\text{реал}}}{t_{\text{мод}}} = \frac{V_{\text{тр_мод}}}{V_{\text{тр_реал}}} \Rightarrow t_{\text{реал}} = t_{\text{мод}} \cdot \frac{V_{\text{тр_мод}}}{V_{\text{тр_реал}}}. \quad (1)$$

где $t_{\text{мод}}$ – время, полученное в рамках моделирования; $t_{\text{реал}}$ – реальное время процесса; $V_{\text{тр_мод}}$, $V_{\text{тр_реал}}$ – скорость травления по модели и реальная скорость травления соответственно.

Заключение

Из полученных зависимостей видно, что для достижения длины затвора транзистора 0,25 мкм толщина второго слоя Si_3N_4 должна быть больше 200 нм. При этом желательно подбирать минимальное время травления, достаточное для полного удаления Si_3N_4 из окна в маске диэлектрика, так как чрезмерное увеличение времени травления приводит к истончению пассивирующего покрытия и может стать причиной выхода прибора из строя в дальнейшем.

Список литературы

1. Iucolano F., Boles T. GaN-on-Si HEMTs for wireless base stations // Materials Science in Semiconductor Processing. – 2019. – Vol. 98. – P. 100–105.
2. Cho Y., Kang D., Kim J., Moon K., Park B.J., Kim B. Linear Doherty power amplifier with an enhanced back-off efficiency mode for handset applications // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2014. – Vol. 62, № 3. – P. 567–578.
3. Madero-Ayora M.J., Allegue-Martinez M., Garcia J.A., Reina-Toshina J., Crespo-Cadenas C. Linearization and EVM enhancement of an efficient class J amplifier for 3G and 4G mobile communication signals // Workshop on Integrated Nonlinear Microwave and Millimetre-wave Circuits. – Dublin: IEEE, 2012. – P. 1–3.
4. Sun B., Zhang P., Zhang T., Shangguann S., Wu S., Ma X. Single step electron-beam lithography archiving lift-off for T-gate in high electron mobility transistor fabrication // Microelectronic Engineering. – 2020. – Vol. 229. – P. 111337.
5. Wood S.M. Sheppard S.T., Radulescu F., Gajewsky D.A., Pribble B., Farrel D., Andre U., Barner J., Milligan J., Palmour J. An Optical 0.25- μm GaN HEMT technology on 100-mm SiC for RF discrete and foundry MMIC products // International Conference on Compound Semiconductor Manufacturing Technology. – 2013.

Рассмотрение возможности использования deepfake генерации аудио данных в качестве состязательной атаки на CNN

А.А. Щедрина, П.Ю. Лаптев, С.А. Литовкин

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: gjyb2002gjyb@yandex.ru

Considering the possibility of using deepfake audio generation as an adversarial attack on CNN

A.A. Shchedrina, P.Y. Laptev, S.A. Litovkin

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. E.Y. Kostyuchenko

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

E-mail: gjyb2002gjyb@yandex.ru

Abstract. *This study examines deepfake voice generation as an adversarial attack on speech datasets and state classification models. Using VGG16 for alcohol intoxication detection via spectrogram analysis, we tested recordings of tongue twisters where the baseline model achieved 0.95 F1-score and UAR. When evaluated against RVCv2-generated audio, performance metrics dropped by 0.5 across speakers, revealing significant vulnerabilities. While this confirms deepfake audio's potential to deceive spectrogram-based systems, critical gaps remain: susceptibility of non-image spectral formats (e.g., MFCCs) and robustness of recurrent networks analyzing sequential spectral data. These findings highlight urgent needs for deepfake voice detection mechanisms and expanded security analyses across diverse speech-processing architectures.*

Key words: *speech analysis, neural networks, speech-to-speech*

Введение

По результатам исследования компании VPNRanks [1] с каждым годом количество людей, становящихся жертвами мошенничества с использованием звонков и сгенерированной с помощью ИИ речи только, увеличивается, что связано с упрощением технологий создания deepfake и повышением качества их результатов. При этом с помощью технологий deepfake, а именно Voice Conversion (VC) методов преобразования речи, создаётся возможность воссоздания не только голоса другого человека, но также и состояния, например, психоэмоциональное состояние, или состояние алкогольного опьянения. В следствии этого, в данной работе предлагается рассмотреть способ проведения состязательных атак на свёрточные нейронные сети по определению состояния диктора, на примере состояния алкогольного опьянения.

Экспериментальная часть

В качестве анализируемых данных был использован речевой корпус, в работе [2]. Данный корпус состоит из 340 аудиозаписей скороговорок 11 разных дикторов в трезвом состоянии и состоянии алкогольного опьянения, однако в данной работе атака проводилась только на записи 4 из дикторов, чьё изменение в речи было наиболее различимо при оценке на слух. Данные на анализ подавались в формате изображений спектрограмм размера 512×512 пикселей, что даёт возможность нормализации записей по длительности.

В качестве моделей оценки состояния использовалась свёрточная нейронная сеть VGG16, чьи показатели качества работы на выделенных дикторах равны 0,95 по метрикам UAR и F-меры, а значения ошибок второго рода составляли для любого из дикторов не более 5 %. Важно отметить, что все дикторы являются для модели знакомыми, то есть в обучающей

выборки модели присутствовали примеры их речи. Такое обучение и тестирование было выбрано для понижения ошибок второго рода, когда модель принимает диктора в состоянии алкогольного опьянения за трезвого диктора, что будет являться критическим нарушением в работе такой системы.

На основе записей выбранных дикторов были обучены 4 модели для генерации аудиозаписей с помощью нейронной сети RVCv2. В качестве параметров обучения моделей генерации речи дикторов брались частота дискретизации равная 48 кГц, количество эпох обучения равное 300, а также алгоритм обучения *gmre*, который является одним из лучших методов для обучения моделей генерации речи. В результате были сгенерированы 1120 аудиозаписей продолжительностью порядка двух часов: 560 в трезвом состоянии и 560 в состоянии алкогольного опьянения.

На рис. 1 представлено сравнение спектрограммы с оригинальной записи 1 диктора, и спектрограммы сгенерированной записи, с помощью обученной модели 1 диктора. Как можно заметить из сравнений, сгенерированная запись содержит больше фоновых шумов, что выражено большей насыщенностью зелёного цвета, однако основная закономерность речевого сигнала достаточно близко повторяет оригинал. Также можно отметить, что при сравнении оригинальных и сгенерированных записей, были выявлены артефакты, а именно резкие скачки тона речи, неестественные заикания в речи и треск, что роднит данный метод атаки с атакой путём добавления шумов в запись. Также было выявлено, что сгенерированные записи обладают всего 1 аудиоканалом, в то время как оригинальные записи были записаны в двухканальном режиме.

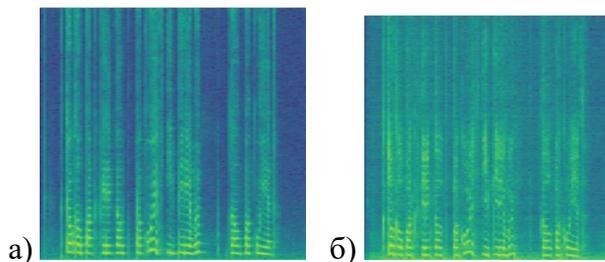


Рис. 1. Сравнение спектрограмм оригинальной и сгенерированной аудиозаписи:
а) оригинальная запись; б) сгенерированная запись

Помимо данной атаки, также было проведено дообучение исходной модели с добавленными сгенерированными данными в обучающую выборку, для оценки влияния такого формата атаки на веса готовой модели.

Результаты

В табл. 1 приведены результаты работы исходной модели на сгенерированных данных, а также результаты оценки качества работы дообученной модели на исходной тестовой выборке. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что как исходная модель, так и дообученная модель начинают хуже справляться с поставленной задачей определения состояния диктора, снижая показатели качества в среднем на 0,5 для метрик UAR и F-меры.

Данные результаты могут быть обоснованы следующими факторами:

- схожесть предлагаемой атаки с атакой добавления шумов;
- высокая чувствительность нормализации путём перевода данных в формат изображений к состязательным атакам;
- относительно слабая обобщающая способность исходной модели, связанная с малым объёмом обучаемых данных.

Для борьбы с предложенным методом атаки могут быть использованы методы по удалению лишних шумов, а также предварительный анализ подаваемых данных на предмет естественности речи. Также можно использовать рекуррентные нейронные сети, анализирующие речевые данные в формате массивов непрерывных спектральных данных, что

в целом повышает глубину анализа, а значит возможно нейтрализация вносимых искажением данного вида атак.

Таблица 1

Оценка качества работы модели на атакованных данных

Диктор	UAR	F-мера
Качество работы оригинальной модели на сгенерированных данных		
Диктор 1	0,3	0,27
Диктор 2	0,7	0,7
Диктор 3	0,4	0,36
Диктор 4	0,42	0,42
Качество работы дообученной модели на исходной тестовой выборке		
Диктор 1	0,55	0,59
Диктор 2	0,48	0,53
Диктор 3	0,51	0,55
Диктор 4	0,45	0,55

Заключение

Предложенный в данной работе метод в действительности представляет опасности для моделей и систем оценки состояния дикторов, что было доказано на примере свёрточной нейронной сети VGG16 и состоянии алкогольного опьянения, снизив качество работы модели в среднем в 2 раза. Так средние значения метрик при тестировании на отдельных дикторах понизились на 0.5 для метрик UAR и F1-Score. Такое же снижение метрик наблюдается и при тестировании дообученной модели на сгенерированных данных.

Это в свою очередь может привести к серьёзным последствиям, если такая система будет использоваться опасном предприятии, поскольку при удачной атаке человек может приступить к выполнению своих обязанностей в недопустимом состоянии, что в свою очередь может повлечь причинение вреда здоровью как самому проверяемому человеку, так и посторонним людям.

В следствие этого дальнейшая работа будет направлена на изучение влияния атаки генерацией речи на модели рекуррентных нейронных сетей, а также на схожие модели свёрточных нейронных сетей, на вход которым подаются изображения других спектральных данных: мел-спектрограммы или MFCC.

Список литературы

1. Pisoni D.B., Martin C.S. Effects of alcohol on the acoustic phonetic properties of speech: perceptual and acoustic analyses // Alcoholism: Clinical and Experimental Research. – 1989. – Vol. 13, № 4. – P. 577–587.
2. Лаптев П.Ю., Литовкин С.А. Определение состояния алкогольного опьянения с помощью искусственного интеллекта на основании устной речи// Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2023. – № 1–2. – С. 192–195.

Анализ частоты основного тона космонавтов в невесомости и на Земле

Г.В. Ященко, Н.С. Репьюк

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: disnake2@gmail.com

Analysis of the fundamental tone frequency of astronauts in zero gravity and on Earth

G.V. Yashchenko, N.S. Repyuk

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. A.A. Konev

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

E-mail: disnake2@gmail.com

***Abstract.** The work is devoted to the study of the features of the fundamental frequency of speech of astronauts during their stay in zero gravity. The study includes a description of the experiment on the analysis of the fundamental frequency of speech in zero gravity and on Earth. The results show that zero gravity has a significant impact on speech characteristics, which must be taken into account when developing speech recognition and synthesis technologies in space programs. The report can be useful to specialists in the field of speech processing, information security, artificial intelligence, medicine and all interested parties studying the effect of space conditions on speech.*

***Key words:** speech, fundamental frequency, zero gravity, articulation, astronaut.*

Введение

Современное состояние решаемой научно-технической проблемы обработки речевых сигналов в условиях невесомости характеризуется значительными вызовами, связанными с уникальными физическими условиями космического пространства. Невесомость изменяет акустические свойства среды, а также может влиять на функционирование речевого аппарата человека. Целью данной работы является изучение особенностей частоты основного тона (ЧОТ) речевого сигнала в невесомости.

Актуальность темы обусловлена расширением космических программ и увеличением длительности пребывания человека в космосе. Ранее изучение акустических характеристик речи успешно проводилось в ряде зарубежных космических экспериментов [1]. Исследования в области симуляции условий невесомости показывают, что ЧОТ может изменяться, и связывают это с адаптацией организма и уровнем стресса [2].

Новизна исследования заключается в проведении эксперимента по изучению особенностей ЧОТ речи русскоговорящих космонавтов в реальных условиях невесомости.

Экспериментальная часть

Экспериментальная часть исследования заключалась в анализе записи речи космонавтов в невесомости и на Земле. Для каждого космонавта были выбраны три одинаковых слова, которые произносились в условиях Земли и в условиях невесомости на МКС. Каждый из записанных фрагментов был подвергнут анализу ЧОТ в специальном программном комплексе [3].

В качестве примера, на рис. 1 представлены графические представления ЧОТ речи двух космонавтов мужского пола (частота – вертикальная ось, Гц., время – горизонтальная ось, с.). Первым космонавтом была произнесена фраза «На Земле», вторым – слово «Эксперимент». Графики сверху демонстрируют диапазоны ЧОТ речи в земных условиях, снизу – в невесомости.

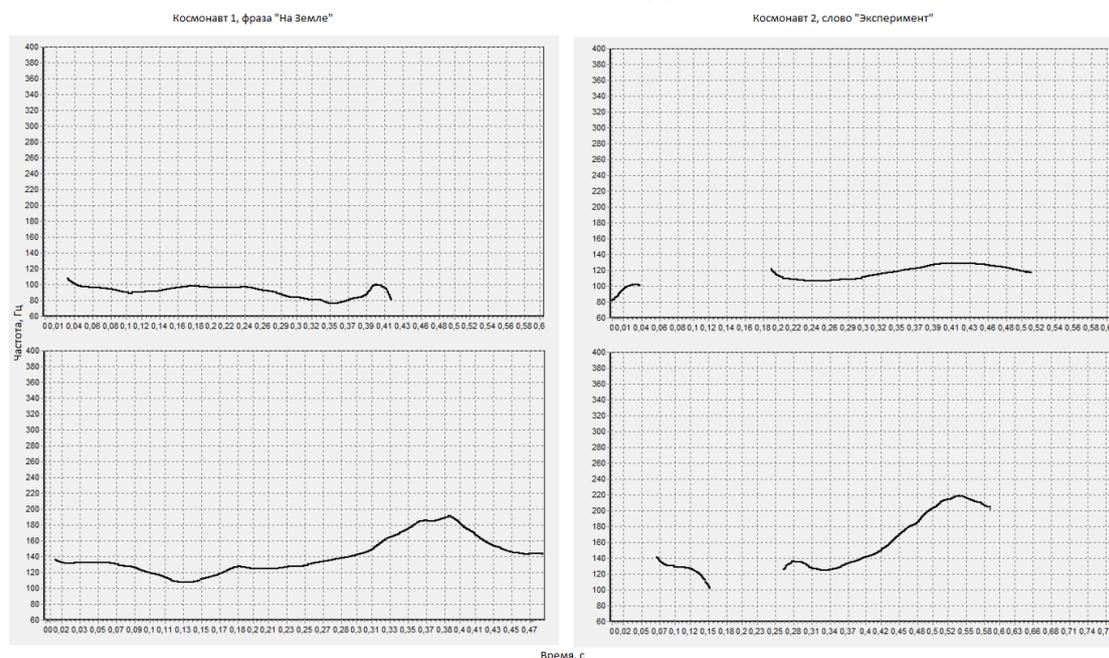


Рис. 1. ЧОТ речи космонавта при произнесении фразы «На Земле» в условиях земной гравитации (сверху) и в невесомости (снизу)

ЧОТ речи первого космонавта принимает примерный диапазон 80–110 Гц. в земных условиях, в невесомости же, примерно, 110–190 Гц. ЧОТ речи второго космонавта принимает примерные диапазоны 80–130 Гц. на Земле и 100–220 Гц. в невесомости. Тенденция повышения ЧОТ речи наблюдается у всех в мужчин космонавтов, принявших участие в эксперименте.

На рис. 2 представлены результаты эксперимента, проводимые с речью женщины. При произнесении слов «Беларуси» и «женщин» диапазоны ЧОТ речи на Земле превышали диапазоны в невесомости.

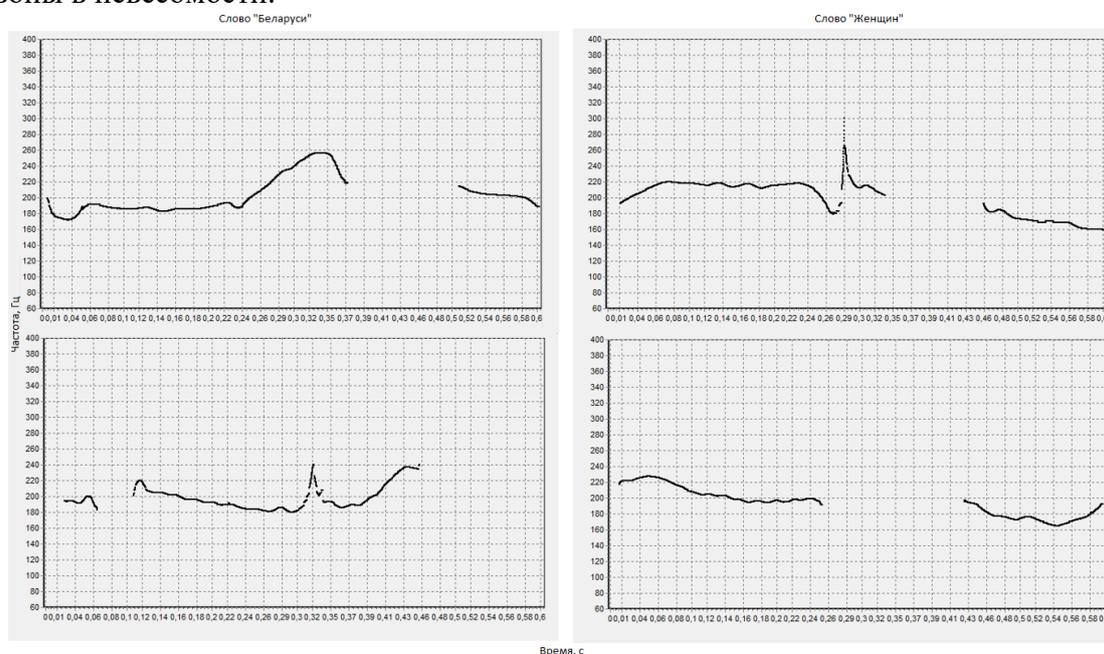


Рис. 2. ЧОТ речи женщины космонавта при произнесении слов «Беларуси» и «Женщин» в условиях земной гравитации (сверху) и в невесомости (снизу)

На Земле ЧОТ речи ограничена в пределах 170–260 Гц., когда в невесомости диапазон характеризуется интервалом от 180 Гц. до 240 Гц., для слова «Беларуси». Для слова «женщин»

ЧОТ речи женщины космонавта представлена приблизительными интервалами от 160 до 300 Гц. и от 160 до 230 Гц. на Земле и в невесомости, соответственно.

Результаты

После проведения эксперимента над изучением особенностей ЧОТ речи всех космонавтов, была составлена общая табл. 1 с полученными результатами.

Таблица 1

Диапазоны значений ЧОТ

Примерное предельное значение ЧОТ, Гц.						
Космонавты	Слово 1		Слово 2		Слово 3	
	Земля	Невесомость	Земля	Невесомость	Земля	Невесомость
Космонавт 1	150	150	105	120	110	185
Космонавт 2	100	255	120	260	155	205
Космонавт 3	260	240	300	230	300	295
Космонавт 4	110	190	110	160	105	150
Космонавт 5	100	170	135	145	145	155
Космонавт 6	105	150	140	220	120	200
Космонавт 7	130	160	140	155	130	220
Космонавт 8	140	155	100	150	–	–

Представленные диапазоны в таблице 1 отражают расхождение значений. Анализ продемонстрировал, что ЧОТ речи в условиях невесомости у космонавтов мужского пола в среднем повышалась по сравнению с земными условиями, в то время как у космонавта-женщины наблюдалось снижение ЧОТ в невесомости. Эти изменения могут быть связаны с физиологическими и психоэмоциональными эффектами, вызванными длительным пребыванием в космосе и стрессом, связанным с космическими полетами.

Заключение

Результаты исследования продемонстрировали, что условия невесомости влияют на ЧОТ. Изменения, наблюдаемые в ходе эксперимента, могут быть использованы для решения задач идентификации спикера в невесомости, диагностики его психоэмоционального состояния и разработки методов для улучшения коммуникации и распознавания речи в условиях космических полетов.

Список литературы

1. Yu C., Hansen J.H.L., Oard D.W. 'houston, we have a solution': a case study of the analysis of astronaut speech during NASA apollo 11 for long-term speaker modeling // INTERSPEECH. – 2014. – P. 945–948.
2. Лебедева С.А., Швед Д.М. Сравнение психофизиологического состояния человека в условиях воздействия моделируемой микрогравитации без средств профилактики и при вращении на центрифуге короткого радиуса // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2021. – Т. 55, № 2. – С. 98–101.
3. Конев А.А. Модель и алгоритмы анализа и сегментации речевого сигнала: автореферат дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.18. – Томск, 2007. – 20 с.

Научное издание

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Том 7. IT-технологии и электроника

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

Компьютерная верстка *С.А. Поробова*

**Зарегистрировано в Издательстве ТПУ
Размещено на корпоративном портале ТПУ
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета**



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ