

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

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

Том 7. IT-технологии и электроника

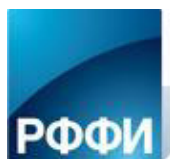
РОССИЯ, ТОМСК, 26 – 29 апреля 2016 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

XIII International Conference of students, graduate students
and young scientists

Volume 7. Information Technologies and Electronics

RUSSIA, TOMSK, April 26 – 29, 2016



Конференция проведена при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 16-32-10075.

Издательство Томский политехнический университет

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

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

Том 7. IT-технологии и электроника

РОССИЯ, ТОМСК, 26 – 29 апреля 2016 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

XIII International Conference of students, graduate students
and young scientists

Volume 7. Information Technologies and Electronics

RUSSIA, TOMSK, April 26 – 29, 2016

Томск 2016

ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

Химический факультет и Институт дистанционного образования Томского государственного университета приглашает дипломированных специалистов пройти программу повышения квалификации

«МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ БИОМЕДИЦИНСКОГО И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ»

Направление 04.03.01 Химия

Модульная структура обучения:

Модуль 1: Биология и биомедицина

Модуль 2: Химия и химические технологии

Модуль 3: Наноматериалы и нанотехнологии

Профессиональные компетенции, формируемые в результате обучения:

- **формирование представлений о современных подходах в области синтеза материалов биомедицинского и функционального назначения с заданными свойствами;**
- формирование представлений о новых методологических подходах в использовании различного оборудования для изучения физиологии человека и материалов биологического и биомедицинского назначений.
- формирование представлений о принципиальных основах, практических возможностях и ограничениях современных методов исследования материалов биомедицинского и функционального назначения;
- ознакомление с аппаратным оснащением и условиями проведения современного эксперимента, процессами интерпретации и оценивания экспериментальных данных, в том числе публикуемых в научной литературе;
- формирование прогностического понимания фундаментальных проблем и практических методов их решения в области современного материаловедения с учетом новых представлений о способах создания и организации функциональных систем;
- получение теоретических знаний в области исследования структуры, состава и физико-химических свойств функциональных материалов.

Обучение в рамках образовательной программы реализуют ученые с высокой научной квалификацией из ведущих научных организаций РФ. Практическая часть курса проводится с использованием современного аналитического и исследовательского оборудования Лаборатории каталитических исследований и Лаборатория трансляционной клеточной и молекулярной биомедицины ТГУ, Научно-образовательного центра «Наноматериалы и нанотехнологии» ТПУ.

КОНТАКТЫ

Руководитель программы: Слизов Юрий Геннадьевич, к.х.н., доцент, декан химического факультета ТГУ, dekanat@chem.tsu.ru.

Координатор программы: Зыкова Анна Петровна, к.ф.-м.н., ассистент ТПУ, zykovaap@mail.ru.

АДРЕС

г. Томск, ул. А. Иванова, 49, корпус № 6, Химический факультет ТГУ

УДК 50(063)
ББК 20л0
П27

П27 Перспективы развития фундаментальных наук [Электронный ресурс]: сборник трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Россия, Томск, 26–29 апреля 2016 г. / под ред. И.А. Курзиной, Г.А. Вороновой. – Томск: Изд-во – Национальный Исследовательский Томский политехнический университет, 2016. – Режим доступа: http://science-persp.tpu.ru/Arch/Proceedings_2016_vol_7.pdf – 131с.

ISBN 978-5-4387-0658-8
ISBN 978-5-4387-0651-9

Сборник содержит труды участников XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук». Включает доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные на секции «IT-технологии и электроника». Сборник представляет интерес для студентов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей.

**УДК 50(063)
ББК 20л0**

Редакционная коллегия

И.А. Курзина, доктор физико-математических наук, доцент;
Г.А. Воронова, кандидат химических наук, доцент;
С.А. Поробова

ISBN 978-5-4387-0658-8
ISBN 978-5-4387-0651-9

© ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет», 2016
© Томский политехнический университет,
электронный текст, 2016

IT-ТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРОНИКА

- интеллектуальные системы управления
- автоматизированные системы обработки информации и управления
- информационная безопасность
- наноэлектроника
- получение и исследование наноматериалов
- оптоэлектроника и нанофотоника
- плазменная эмиссионная электроника
- интеллектуальная силовая электроника
- СВЧ электроника
- системы радиолокации, телевидения, радиосвязи, радиометрии и распространения волн радиочастотного и акустического диапазонов
- импульсные и радиочастотные измерения

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ «ИТ-ТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРОНИКА»

РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ МЕТОД СВЕРХШИКОПОЛОСНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ САМОЛЕТА М.М. Абулкасымов	9
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОРОДНОСТИ ПЛОТНОСТИ ТОКА ЛЕНТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ПРИ ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИИ В ФОРВАКУУМНОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ А.П. Андрейчик, И.Ю. Бакеев, А.С. Климов, А.А. Зенин	12
ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЗДАНИЯМИ И СООРУЖЕНИЯМИ Е.А. Захарова, Е.А. Андрианова	15
СРОК СЛУЖБЫ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП К.Н. Афонин, Ю.В. Ряполова, Д.Г. Старосек	18
КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ С.Д. Бабкин	21
ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В ФОРВАКУУМЕ И.Ю. Бакеев, А.А. Зенин, А.С. Климов	24
ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ОБРАЗЦОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ В ТЕРАГЕРЦОВОМ СПЕКТРОМЕТРЕ В.Ю. Выговский, А.И. Бердюгин	27
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ О.В. Булгакова, Ю.В. Шульгина, Е.М. Шульгин	30
BUILDING REUSABLE PREDICTION MODELS FOR TECHNOLOGICAL DATA USING BUSINESS INTELLIGENCE TOOLS A.V. Vaytulevich, F.V. Stankevich	33
OPTIMIZING NFC PERFORMANCE ON A WEARABLE DEVICE USING EVOLUTIONARY ALGORITHM A.V. Vaytulevich	36
POSITION SYSTEM FOR ULTRASOUND SCANNER FLAW DETECTION WITH CONTROL OF STL FILES I.M. Vasiliev	39
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ SILVACO TCAD ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИЛОВОГО НИТРИД-ГАЛЛИЕВОГО ТРАНЗИСТОРА О.И. Демченко	42
ДАТЧИК ФИЛАМЕНТА В.С. Дойчев	45
NANOSIZED EMITTERS ON THE BASIS OF GRAPHENE ON SILICON CARBIDE WITH LOCAL CHANGE EMITTING SURFACE I.L. Jityaev, O.A. Ageev, A.M. Svetlichnyi, O.B. Spiridonov	48
ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ К.В. Заичко	51
ПОЛУЧЕНИЕ ОСТРОСФОКУСИРОВАННЫХ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ В ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ 15–50 ПА А.А. Зенин, И.Ю. Бакеев, А.П. Андрейчик, А.С. Климов	54

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ УСКОРЯЮЩЕГО ПРОМЕЖУТКА ФОРВАКУУМНОГО ИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ А.В. Казаков, А.В. Медовник	57
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЕ ИСПАРЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МИШЕНЕЙ В ФОРВАКУУМНОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ А.С. Климов, А.А. Зенин, Ю.Г. Юшков	60
ОСОБЕННОСТИ СПЕКАНИЯ SiC КЕРАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОРВАКУУМНОГО ПЛАЗМЕННОГО ЭЛЕКТРОННОГО ИСТОЧНИКА А.С. Климов, А.А. Зенин, А.П. Андрейчик	63
УСТРОЙСТВО ВЫВОДА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В АТМОСФЕРУ НА ОСНОВЕ ПЛАЗМЕННОГО ЭМИТТЕРА О.А. Когай, А.Ю. Кузьминых, М.П. Моторин	66
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ТОКА ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ Д.А. Корольский, С.Г. Михальченко	69
ЦВЕТОВАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ Я.В. Костелей	72
ПОСТРОЕНИЕ ТРЕНДОВОЙ МОДЕЛИ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ Я.В. Костелей	75
ПРИМЕНЕНИЕ СЕРВЕРОВ ОТЧЕТОВ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ К.А. Костенко	78
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКЗЕМПЛЯРОВ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ПОСРЕДСТВОМ ФОРМАЛИЗАЦИИ ИХ ТЕКСТОВЫХ ОПИСАНИЙ М.И. Кочергин	81
ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОМПЕНСАЦИИ ФОТОРЕФРАКТИВНОГО ИСКАЖЕНИЯ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В КРИСТАЛЛАХ НИОБАТА ЛИТИЯ С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА Е.А. Дмитриев, Е.А. Березина, В.А. Крадько	84
ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ TCAD ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ И.А. Лысенко, Д.Д. Зыков	87
ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ А.А. Мещеряков	90
РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ТИПОВОГО ЭЛЕМЕНТА МОДЕЛИ УЧЕБНОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ А.А. Мытник, А.П. Клишин, Н.Л. Еремина	93
ОПТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕТОДИОДНОЙ ЛАМПЫ Ю.В. Ряполова, К.А. Неверовский, Е.О. Постолова	96
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ А.К. Новохрестов, А.А. Конев	99
РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С.А. Панов, Т.Е. Григорьева, С.К. Важенни	102
NUCLEAR KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM М.У. Permiova, D.G. Demjanjuk	105
ПЕРЕНОСНОЙ РЕЛЬСОВЫЙ ПРОФИЛОМЕТР А.О.Плетнев, Ю.А. Чурсин, А.И. Гожимов	108

РАЗРАБОТКА РЕГИСТРАТОРА УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩЕГО НА ПОЛИЭТИЛЕНОВУЮ ИЗОЛЯЦИЮ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ Д.А. Поляков, А.К. Касенова, К.И. Никитин	111
ЗОНДИРОВАНИЕ ПОДПОВЕРХНОСТИ ДВИЖУЩИМСЯ РАДИОЛОКАТОРОМ С.Н. Росляков, К.В. Завьялова	114
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ КОПЛАНАРНОГО ВОЛНОВОДА А.А. Савин	117
НЕЧЕТКАЯ ИМИТАЦИОННАЯ СИСТЕМА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА В ПУЧКЕ ЭЛЕКТРОНОВ ФОРВАКУУМНОГО ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА К.С. Сарин, А.В. Медовник	120
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ DATA MINING ДЛЯ СОЗДАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ БАЗ ЗНАНИЙ А.С. Сендова, Е.В. Берестнева, И.А. Осадчая	123
ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЯЕМЫХ ВОЛНОВОДНЫХ КАНАЛОВ В ФОТОПОЛИМЕРНО-ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЯХ А.О. Семкин, Д.И. Малышева, О.В. Незнанова	126
СПЕЦИФИКА РЕАЛИЗАЦИИ КРОССПЛАТФОРМЕННОГО ФРЕЙМВОРКА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ КОГНИТИВНЫХ СРЕДСТВ А.В. Ямшанов	129

**РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ МЕТОД СВЕРХШИКОПОЛОСНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ
ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ САМОЛЁТА**

М.М. Абулкасымов

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.С. Шостак

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: murod_bek.551m@mail.ru

**RADAR METHOD ULTRA-WIDEBAND SENSING FOR THE DETECTION OF ICING ON
THE SURFACE OF THE AIRCRAFT**

M.M. Abulkasymov

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

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

E-mail: murod_bek.551m@mail.ru

***Abstract.** The article is devoted to the topic problem of the crash because of icing and methods for detection of icing on the surface of the aircraft. When dealing with the detection of icing of aircraft, using radio equipment, relevant and effective method is the method of ultra-wideband sensing. The method is based on analyzing the reaction of the surface of the aircraft on the sounding signal. On the basis of the conducted research the author, the use of this method in ultra-wideband range of radiation, to determine the presence of the ice layer with the accuracy up to mm.*

Обледенение самолёта, опасное явление, ухудшающее аэродинамические характеристики и лётные качества самолёта. Обледенение самолёта может нарушить работу двигателей, навигационных приборов и радиосвязь и привести к катастрофе. Различают Обледенение самолёта в полёте и наземное. Первое возникает главным образом при столкновении самолёта с переохлажденными водяными каплями облаков и осадков и их последующем замерзании. Толщина слоя льда на некоторых деталях самолёта может достигать 10 см и более. С точки зрения аэродинамики наиболее чувствительным является обледенение передней кромки крыла и хвостового оперения. Уязвимой здесь может быть зона защиты. В этой зоне нарастающий лед может образовывать несколько характерных форм (рис. 1).

Характер отложения льда во время обледенения самолёта в полёте, его форма, структура, интенсивность образования определяются размерами и концентрацией капель, а также процессами теплообмена обледеневающей поверхности.

Наземное обледенение самолетов – одна из многофакторных проблем воздушного транспорта. Для решения проблем с обнаружением обледенений летательных аппаратов с помощью радиоаппаратуры актуальными и эффективными являются: метод зеркальных изображений и метод сверхширокополосного зондирования.

Радиолокационное зондирование, этот метод, основанный на дистанционном исследовании объектов с помощью сверхширокополосного зондирования. Метод диагностики и контроля основан на анализе

реакции исследуемой поверхности летательного аппарата на зондирующий и отраженный сигнал с широким спектром.

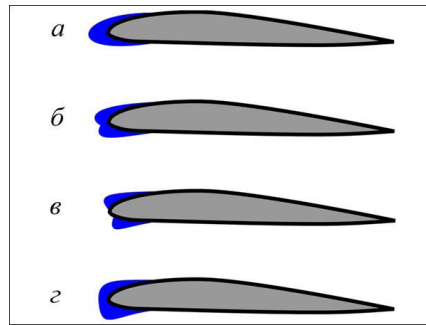


Рис. 1. Характерные формы льдообразования на лобовых поверхностях: а – клинообразная, б – желобообразная (корытообразная), в – рогообразная, г – промежуточная

Для решения практических задач, таких как: обеспечение надежного прогнозирования и контроля на поверхности летательного аппарата, а именно: обнаружения наличия льда и слоя льда. Для проведения численного моделирования коэффициента отражения были использованы диэлектрическая проницаемость металла и диэлектрическая проницаемость льда.

Задача исследования формулируется следующим образом. На рис. 2 представлена математическая модель, содержащая n -слоев (каждый единичный слой имеет свою толщину h_i), нормально падает плоская электромагнитная волна (угол падения θ равен 0). Требуется определить коэффициент отражения ($R_{отр}$) от исследуемой среды в зависимости от длины волны.

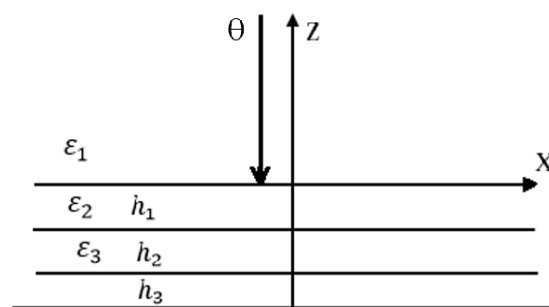


Рис. 2. Математическая модель

Конечное выражение для коэффициента отражения $R_{отр}$ (в нашем случае 3 слоя) имеет следующий вид:

$$R_{14}(f) = \frac{r_{12}(\theta) + r_{24}(f) \cdot e^{\gamma_1(f)}}{1 + r_{12}(\theta) + r_{24}(f) \cdot e^{\gamma_1(f)}} \quad (1)$$

$$R_{15}(f) = \frac{r_{12}(\theta) + r_{24}(f) \cdot e^{\gamma_1(f)}}{1 + r_{12}(\theta) + r_{24}(f) \cdot e^{\gamma_1(f)}} \quad (2)$$

$$R_{16}(f) = \frac{r_{12}(\theta) + r_{24}(f) \cdot e^{\gamma_1(f)}}{1 + r_{12}(\theta) + r_{24}(f) \cdot e^{\gamma_1(f)}} \quad (3)$$

По формулам (1), (2), (3) был рассчитан модуль коэффициента отражения [1-3] в частотном диапазоне 30–60 ГГц. Поверхность представлена дискретными слоями толщиной 1, 2, 3 см. Значения коэффициента отражения представлены в виде графиков (рис. 3).

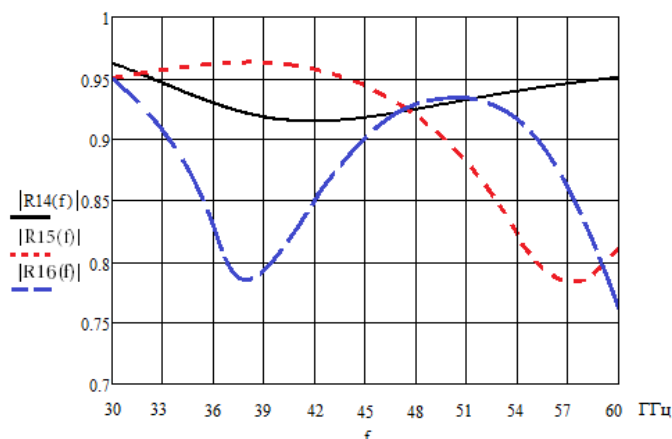


Рис. 3. Зависимость модуля коэффициента отражения от частоты, для различных толщин льда

Обобщив и систематизировав теоретические расчеты в процессе выполнения задачи, была разработана структурная схема (рис. 4). В состав структурной схемы войдут следующие элементы: генератор с перестройкой частоты (СВИП-Г); приемно-передатчик (ПП); детектор (Д); устройство обработки информации (УОИ); дисплей (Дс).

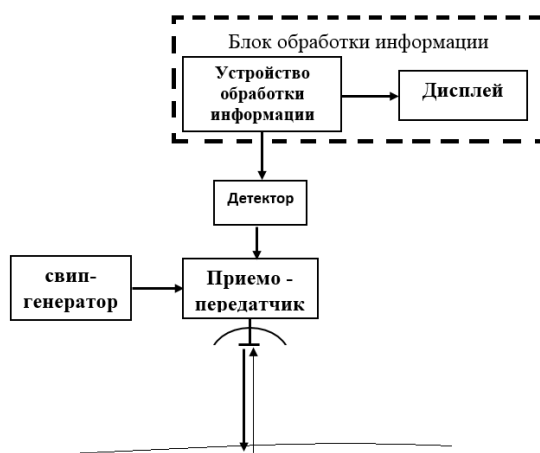


Рис. 4. Структурная схема устройства для зондирования поверхности летательного аппарата

В результате работы была исследована влияние распределения диэлектрических параметров льда и металла на формирование коэффициента отражения плоской горизонтально поляризованной волны при нормальном падении на поверхность, а также разработана структурная схема устройства. Для такого метода в диапазоне сверхширокополосного излучения, позволяет определять наличия льда с точностью до мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Финкельштейн М.И. Радиолокация слоистых земных покровов. – М.: Сов. Радио, 1977. – 176 с.
2. Финкельштейн М.И., Кутев В.А., Золотарев В.П. Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии. – М.: Недра, 1986. – 128 с.
3. Марков Г.Т., Сазанов Д.М. Антенны. – М.: Энергия, 1975. – 528 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОРОДНОСТИ ПЛОТНОСТИ ТОКА ЛЕНТОЧНОГО
ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ПРИ ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИИ В ФОРВАКУУМНОМ
ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ**

А.П. Андрейчик, И.Ю. Бакеев, А.С. Климов, А.А. Зенин

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: andreichik94@mail.ru

**THE RESEARCH OF RIBBON ELECTRON BEAM CURRENT DENSITY UNIFORMITY IN THE
FOREVACUUM PRESSURE RANGE**

A.P. Andreychik, I.Yu. Bakeev, A.S. Klimov, A.A. Zenin

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

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

E-mail: andreichik94@mail.ru

Abstract. *The article demonstrates influence of accelerating voltage on the current density uniformity of the ribbon beam generated by the forevacuum plasma source. The beam uniformity also varies with increasing distance from the extractor. Distribution is uniform at short distances from the extractor only for small acceleration voltage. The level with the best beam uniformity moves away from the emission electrode with increase in acceleration voltage. Further disseminating of the electron beam leads to more unequal current density distribution of the beam.*

Введение. Поверхностная обработка большой площади диэлектрических материалов, осаждение покрытий, плавка, плазмохимическое и ионное травление – лишь немногие из числа технологических задач, решить которые качественно и эффективно можно с применением электронных пучков большого сечения, а в частности, ленточных. Получить непрерывный электронный пучок такой конфигурации в отсутствие продольного магнитного поля и специальной фокусирующей системы позволяет форвакуумный плазменный источник электронов [1]. Использование источника такого рода помогает избежать накопления отрицательного заряда на облучаемой поверхности (компенсация происходит автоматически за счет поступления на облучаемую поверхность положительных ионов из пучковой плазмы), а значит, обеспечивает возможность непосредственной электронно-лучевой обработки диэлектрических материалов, в числе которых керамика и полимеры. Равномерность обработки напрямую зависит от однородности распределения плотности тока по сечению электронного пучка, на которую, в свою очередь, может оказывать влияние неоднородность в распределении концентрации эмиссионной плазмы, а также рассеяние электронов пучка при их распространении в области давлений 5–20 Па.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании однородности распределения плотности тока ленточного электронного пучка, генерируемого форвакуумным плазменным источником, в зависимости от различных параметров эксперимента.

Техника и методика измерений. Схематическое изображение установки, с помощью которой проводились эксперименты, представлено на рис. 1, а. Электронный источник 1, расположенный на фланце вакуумной камеры 2, представлял собой трехэлектродную систему, состоящую из полого катода, плоского анода и ускоряющего электрода. Подробнее конструкция и характеристики данного источника описаны в [1]. Генерируемый им непрерывный электронный пучок ленточной конфигурации 3 после прохождения вакуумной камеры улавливался коллектором 4. Рабочая камера откачивалась механическим форвакуумным насосом BocEdwards 80, необходимое давление обеспечивалось напуском рабочего газа (воздуха) непосредственно в камеру.

Распределение плотности тока в поперечном сечении пучка было получено при равномерном перемещении измерительного зонда 5. Схема измерительного зонда представлена на рис. 1, б. Электроны пучка при прохождении через продольную щель шириной 1 мм собирались внутренней поверхностью полого медного цилиндра 6, сигнал с которого регистрировался осциллографом Tektronix TDS 2004B. Для предотвращения попадания электронов пучка на внешнюю поверхность цилиндра, последняя закрывалась диэлектриком 7 и защитным экраном 8. Высота приемной части измерительного зонда составляла 15 см. Схема его движения показана на рис. 2. В экспериментах расстояние z от ускоряющего электрода до плоскости движения зонда составляло 5, 20 и 35 см.

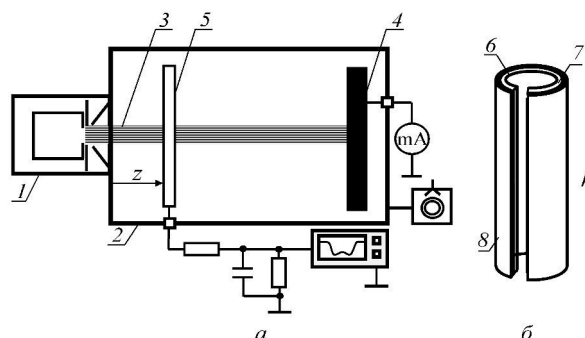


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – электронный источник; 2 – вакуумная камера; 3 – электронный пучок; 4 – коллектор; 5 – измерительный зонд; 6 – полый цилиндр; 7 – диэлектрик; 8 – защитный экран

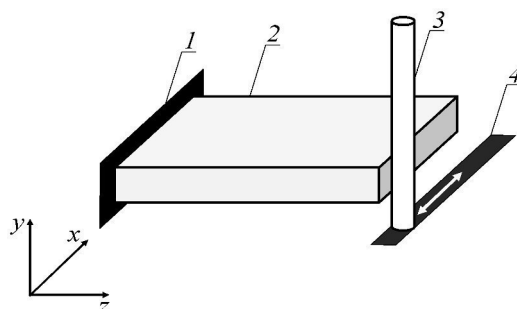


Рис. 2. Схема измерения плотности тока в поперечном сечении пучка: 1 – выходная апертура источника; 2 – электронный пучок; 3 – измерительный зонд; 4 – направления перемещения зонда

Результаты

Распределения плотности тока ленточного электронного пучка при ускоряющих напряжениях 5 и 8 кВ представлены на рис. 3.

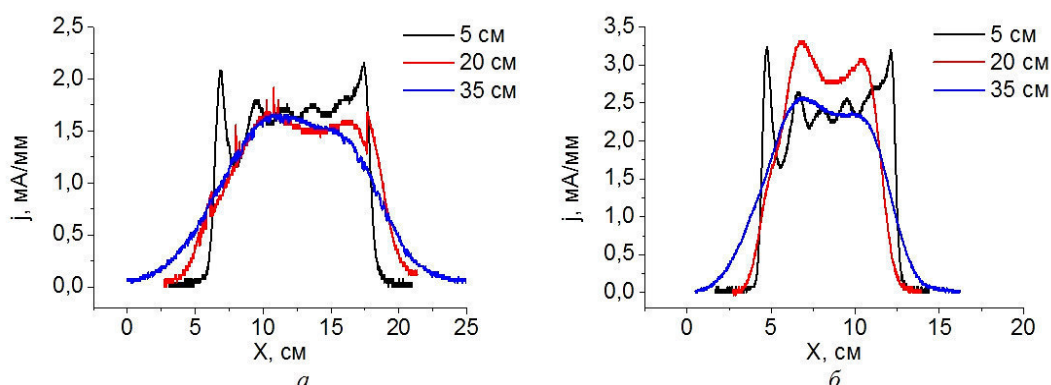


Рис. 3. Распределения плотности тока ленточного электронного пучка: а – $U_a = 5$ кВ; б – $U_a = 8$ кВ.

Ток пучка 200 мА. Давление 7,5 Па

Данные распределения оказываются достаточно неоднородными на малом (5 см) расстоянии от экстрактора электронного источника. Однако, с увеличением расстояния, однородность в распределении плотности тока значительно повышается (рис. 3, кривые 20–35 см), что может быть связано с рассеянием электронов на молекулах газа. Рассеяние также способствует расширению пучка, причем расширение при меньших ускоряющих напряжениях выражено в большей степени, что объясняется большей частотой соударений электронов с молекулами газа и, тем самым, отклонением их на большие углы. Ухудшение равномерности распределения плотности тока вблизи экстрактора при повышении ускоряющего напряжения однозначно можно связать с изменением распределения концентрации эмиссионной плазмы, что, как отмечено в [2], обусловлено усилением исходной неоднородности плазмы под влиянием обратного ионного потока из ускоряющего промежутка.

Заключение

В работе исследована однородность распределения плотности тока по сечению ленточного электронного пучка, генерируемого форвакуумным источником, в зависимости от ускоряющего напряжения и расстояния до экстрактора. Показано, что увеличение ускоряющего напряжения приводит к повышению неоднородности пучка вблизи экстрактора. Дальнейшее рассеяние электронов на молекулах газа приводит к улучшению однородности пучка, таким образом, отдаляя зону наиболее равномерной электронно-лучевой обработки от экстрактора.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ грант № 14-08-00047

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климов А.С., Бурдовицин В.А., Гришков А.А., Окс Е.М., Зенин А.А., Юшков Ю.Г. Формирование ленточного электронного пучка форвакуумным плазменным источником электронов // Прикладная физика. – 2015. – № 1. – С. 35–39.
2. Бурдовицин В.А., Бурачевский Ю.А., Окс Е.М., Федоров М.В. Электронный источник с плазменным катодом для генерации ленточного пучка в форвакуумном диапазоне давлений // Приборы и техника эксперимента. – 2003. – № 2. – С. 127–129.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЗДАНИЯМИ И СООРУЖЕНИЯМИ

Е.А. Захарова, Е.А. Андрианова

Научный руководитель: аспирант, ассистент кафедры АТП ТПУ М.Н. Морозов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: eaz15@tpu.ru

TRENDS OF CONTROL SYSTEMS BUILDINGS AND STRUCTURES

E.A. Zakharova, E.A. Andrianova

Scientific Supervisor: Post graduate student, Assistant of the department of Heat and Power Process

Automation M.N. Morozov

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

E-mail: eaz15@tpu.ru

Abstract. *Article is devoted to development trends of building management systems and facilities. The authors examine the role of automated building management systems (BMS) in the field of energy saving technologies. Special attention is paid to the development trends of the BMS, and their structures and functions.*

Введение. На протяжении последних нескольких лет задача снижения энергии зданиями и сооружениями различного назначения становится всё более актуальной. Помимо использования широко распространённых энергосберегающих технологий (эффективные источники освещения, теплоизолирующие материалы и др.), эксперты признают значительную роль автоматизированных систем управления зданиями (АСУЗ). Такая система представляет собой интегрированный комплекс сбора, обработки и управления различными подсистемами жизнеобеспечения здания.

Использование концепции «интеллектуального здания» (ИЗ) позволяет за счет комплексной интеграции систем жизнеобеспечения достигнуть экономии средств до 10–15 % по сравнению с отдельными функционирующими локальными системами. На практике известны случаи, когда потребление энергии, воды, газа, тепла сокращалось приблизительно на 30 %. С одной стороны, снижаются выбросы в окружающую среду и затраты на их утилизацию. С другой стороны, применение современных энергосберегающих технологий позволяет снизить подводимые мощности и ресурсы, а значит, дает возможность снизить затраты на инженерные коммуникации зданий [1].

Общие функции АСУЗ [2, 3]:

- сбор информации с датчиков;
- исполнение управляющих воздействий на технологический процесс;
- регулирование процессов согласно выбранному закону и алгоритму;
- оптимизация работы подсистем согласно выбранным критериям качества;
- контроль состояния технологического оборудования и элементов АСУЗ;
- диспетчеризация.

Структура АСУЗ. АСУЗ включает в себя три уровня [2, 3]:

1. Нижний уровень – контрольно-измерительные приборы (КИП), включающие в себя датчики и исполнительные механизмы, а также кабельные соединения между устройствами и нижним — средним уровнями.

2. Средний уровень – уровень автоматизированного управления функциональными процессами, основными компонентами которого являются контроллеры управления, модули ввода-вывода сигналов и различное коммутационное оборудование.

3. Верхний уровень – диспетчеризация и администрирование с базами данных и статистическими функциями. На данном уровне осуществляется взаимодействие между персоналом (операторами, диспетчерами) и системой через человеко-машинный интерфейс, реализованный в основном на базе компьютерных средств и SCADA-систем. Этот же уровень должен отвечать за информационное взаимодействие с уровнем предприятия.



Рис. 1. Уровни АСУЗ

Основные тенденции развития АСУ зданий являются [2, 4, 5]:

- АСУ здания на открытых протоколах обмена данными.

Один из перспективных протоколов - LON-Works (ANSI/EIA 709.1-A-1Э99). LON-Works представляет собой открытый коммуникационный протокол LonTalk на базе модели OSI, осуществляющий обмен информацией между узлами стандартным способом. Узлом LON-сети может быть контроллер, датчик, привод, различные исполнительные устройства. Протокол LonTalk, обеспечивает возможность создания сетей с практически неограниченным количеством узлов и ориентирован на решение задач автоматизации и диспетчеризации, где необходима высокая надежность и скорость передачи данных небольшими пакетами.

Другой перспективный протокол для автоматизации зданий и сооружений - BACnet. Разработан относительно недавно и показывает хорошую динамику расширения на рынке. Спецификация протокола охватывает сетевой и прикладной уровни согласно модели OSI. На физическом и канальном уровнях BACnet может использовать как вполне традиционные Ethernet, RS232, RS485, так и среду сети LON. Протокол определяет набор стандартных объектов, описывающих автоматизируемое оборудование с определенным набором свойств. Недостатком использования BACnet является сложность в работе с ним, что обусловлено спецификой систем управления зданиями. Также возникают сложности при интеграции нескольких систем управления или устройств, работающих с разными протоколами. В этом случае требуется приобретение специальных преобразователей протоколов/интерфейсов.

- интегрированная система управления: ОВК, энергетика, безопасность, учет и экономия ресурсов;
- переход на TCP/IP как основной транспортный протокол.

- WEB и Internet как платформа построения распределенных систем: К числу основных задач в области информационных технологий относится внедрение в системы автоматизированного проектирования веб-технологий, что позволяет реализовать построение систем с сервисно-ориентированной архитектурой, при которой информационные ресурсы доставляются потребителям посредством сетевых сервисов.
- связь АСУ здания с системами управления техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР), бизнес-системами (1C, Парус, SAP /R3, Oracle):
- Big Data, Cloud Computing, Internet of Things, Smart Grid: cloud computing – это программно-аппаратное обеспечение, доступное пользователю через Интернет (или локальную сеть) в виде сервиса, позволяющего использовать удобный веб-интерфейс для удаленного доступа к выделенным ресурсам (вычислительным ресурсам, программам и данным). Компьютер пользователя выступает при этом рядовым терминалом, подключенным к Сети.
- переход от «Intelligent Building» к «Smart City». «Smart City» – город, все ресурсы которого расходуются наиболее эффективно на основании анализа информации, получаемой от всех структур, организаций и жителей города. Основными плюсами, по нашему мнению, являются: снабжение ресурсами по запросу, полнота информации о состоянии объектов в любой момент времени для различных ответственных служб.

Выводы: Энергосберегающие технологии получают распространение в сфере общественных и жилых зданий. Многие здания оборудованы автоматизированными тепловыми пунктами, системами поддержания климата, управления освещением. Для дальнейшего снижения энергопотребления необходимо использовать технологии АСУЗ. Разработка модели АСУЗ с учетом указанных трендов является актуальной задачей. АСУЗ должна иметь человеко-машинный интерфейс на базе WEB-интерфейса, а также поддерживать коммуникационные протоколы типа BACnet и LON-Works. Интеграция с будущими системами Smart City также является приоритетной задачей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (госконтракт 16-38-00628).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявцева М.Е. Системы автоматизации зданий: внедрение и экономическая оценка // Информационные технологии в экономике. – 2012. – № 2. – С. 261–262.
2. Ярулин Р.Н. Современные подходы, используемые в автоматизированных системах управления и эксплуатацией зданием // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4. – С. 446–447.
3. Ильин В.В., Бродач М.М. и др. Стандарт АВОК. Автоматизированные системы управления зданиями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.norm-load.ru/SNiP/Data1/51/51520/index.htm#i108557> – 02.02.16.
4. Евдокимов Я.А., Яковлев А.О. Системы автоматизации зданий: комфорт плюс экономия // Системная интеграция. – 2007. – № 2. – С. 40–42.
5. Обзор выставки в области систем автоматизации коммерческой и жилой недвижимости HI-TECH BUILDING 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://en.hitechbuilding.ru/press/release/itogi-konferentsii-intellektualnoe-zdanie-tendentsii-rynka-i-mnenie-ekspertov/> – 16.02.16.

СРОК СЛУЖБЫ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

К.Н. Афонин, Ю.В. Ряполова, Д.Г. Старосек

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: Pa3z@mail.ru

LIFETIME OF LED LAMPS

K.N. Afonin, Y.V. Ryapolova, D.G. Starosek

Scientific Supervisor: Docent, Ph.D. V.S. Soldatkin

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

E-mail: Pa3z@mail.ru

Abstract. The article presents results for prediction lifetime lamp with four light emitting elements (LEE). LEE mounted in glass bulb incandescent lamps with E27 base. Keywords: light emitting element, gallium nitride, heat dissipation, lifetime, LED lamp.

В настоящее время наибольшей популярностью у потребителей светодиодной осветительной продукции пользуются светодиодные лампы на основе светодиодных нитей в колбе – светодиодных излучающих элементов (СИЭ). Особенностью такой конструкции является использование СИЭ в колбе стандартной лампы накаливания. Одной из проблем таких ламп является низкий теплоотвод от СИЭ, который в основном обеспечивается за счёт заполнения колбы лампы инертным газом (аргоном, водородом, гелием и т.д.).

Постановка задачи.

Провести тепловые расчёты конструкции светодиодной лампы с учётом отсутствия конвекции и отводом тепла только через места контактной сварки к металлическим частям опорной конструкции внутри колбы лампы; по результатам тепловых расчётов спрогнозировать срок службы светодиодной лампы в зависимости от температуры окружающей среды без учёта устройства питания (драйвера).

Расчёт тепловых режимов СИЭ и прогнозирование срока службы.

Способность отвода тепла от активной области кристалла – тепловое сопротивление, определяется по следующей формуле [1–3]:

$$P_e = \frac{(T_1 - T_2)}{R_t}, \quad (1)$$

где P_e – мощность, рассеиваемая в данном компоненте; T_1 , T_2 – значения температуры двух тел или тела и среды (T_1 – более высокая температура, чем T_2); R_t – тепловое сопротивление.

Для послойной оценки тепловое сопротивление для каждого слоя приближённо определяется по формуле [1, 2]:

$$R_t = \frac{\delta}{\lambda \cdot S}, \quad (2)$$

где δ – толщина слоя (м); S – площадь слоя (м²); λ – теплопроводность вещества (Вт/м·К).

Теплопроводность люминофорной композиции не превышает 0,05 Вт/м·К, поэтому отвод тепла в основном осуществляется через подложку на металлическое основание СИЭ. Потребляемая мощность кристалла составляет 29 мВт (прямое напряжение 2,9 В, прямой ток 10 мА). Производитель кристаллов указывает, что температура р–п-перехода не должна превышать 125 °С. Основное тепло выделяется в активной области кристалла GaN со значением теплопроводности ~ 1,3 Вт/м·К, тепловой поток проходит от активной области через п тип и сапфировую подложку (теплопроводность 46 Вт/м·К), металлизацию и теплопроводящий клей на металлическое основание СИЭ. Рассчитанное тепловое сопротивление кристалла (р–п-переход – металлизация) по формуле (2) составляет 31 К/Вт. Теплопроводность клея составляет примерно 60 Вт/м·К, толщина клея не более 30 мкм, тепловое сопротивление СИЭ составит 33,87 К/Вт. По данным от производителя (фирма Engled) аналогичных СИЭ тепловое сопротивление их изделий составляет 45 К/Вт, что косвенно подтверждает достоверность проведённых оценочных расчётов.

По формуле (3) проведём расчёт температуры р–п-перехода [3]:

$$T_{p-n} = T_{окр} + (R_t \cdot P_e), \quad (3)$$

где T_{p-n} – температура р–п-перехода (°С); $T_{окр}$ – температура окружающей среды (°С).

При $T_{окр} = 25$ °С температура р–п-перехода $T_{p-n} = 25 + (33,87 \times 0,029) = 25,9$ °С.

Соответственно по формуле (3) определим значения температуры р–п-перехода, которая составляет для варианта лампы с четырьмя СИЭ 102,7 °С.

Согласно методике [3] ускоренные испытания для определения срока службы светодиодов предусматривают форсирование, приводящее к интенсификации физико-химических процессов деградации светодиодов без изменения основных механизмов отказов.

$$K_y = \exp \left[\left(\frac{E_a}{kT} \right) \cdot \left(\frac{1}{T_{p-n} + 273} \right) - \left(\frac{1}{T_{p-ny} + 273} \right) \right], \quad (4)$$

где K_y – коэффициент форсирования ускоренных испытаний; E_a – энергия активации отказов, эВ; k – постоянная Больцмана; T_{p-n} – температура р–п-перехода в нормальных условиях эксплуатации (в рабочем режиме), °С; T_{p-ny} – температура р–п-перехода в ускоренном режиме испытаний, °С.

Номинальное время наработки $T_{ном}$ (срок службы СД) определяют по уравнению (5), задав коэффициент форсирования K_y , исходя из режимов ускоренных испытаний [3]:

$$T_{ном} = t_y \cdot K_y, \quad (5)$$

где t_y – время испытаний в ускоренном режиме.

Значение времени наработки в ускоренном режиме не должно быть меньше 1000 ч.

Построим график прогнозируемого срока службы для лампы с четырьмя СИЭ, значение энергии активации отказов для типовых светодиодов составляет примерно 0,75 эВ, данное значение будет использоваться для дальнейших расчётов (рис. 1). График построен в Ms Excel для заданных значений температур от 25 до 80°С и на основе формул (4), (5).

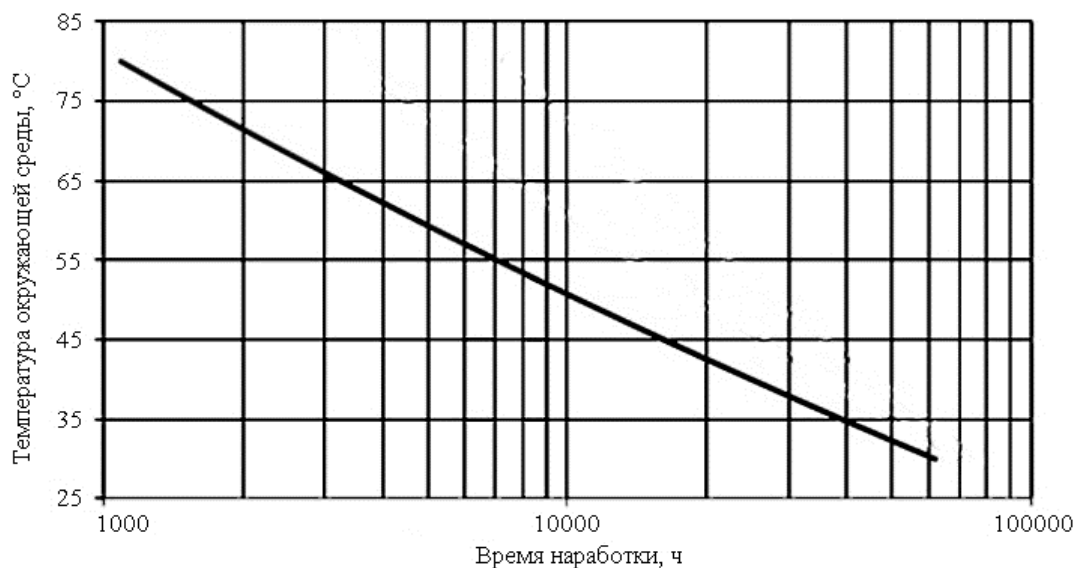


Рис. 1. Зависимость срока службы от температуры для лампы с четырьмя СИЭ

Из рис. 1 видно, срок службы светодиодной лампы превышает шестьдесят тысяч часов. Это соответствует мировому уровню разработок в данной области [4, 5].

Заключение.

Проведён расчёт срока службы светодиодной лампы в зависимости от температуры окружающей среды. Установлено, что срок службы светодиодной лампы превышает шестьдесят тысяч часов. Но в расчётах не учитывался источник питания лампы (драйвер), с учётом источника питания, в частности электролитических конденсаторов, срок службы лампы может уменьшиться до 15 000 часов.

Работа поддержана Минобрнауки России в рамках проекта RFMEFI57714X0061.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончарова Ю.С. Ускоренные испытания полупроводниковых источников света на долговечность // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 2 (28). – С. 51–53.
2. Солдаткин В.С., Ряполова Ю.В., Афонин К.Н., Олисовец А.Ю., Туев В.И. Анализ срока службы светодиодных излучающих элементов // Доклады ТУСУРа. – 2015. – № 3. – С. 55–61.
3. ОСТ 11-336.938–83. Приборы полупроводниковые. Методы ускоренных испытаний на безотказность и долговечность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.1bm.ru/techdocs/kgs/ost/1057/info/23239>. – 10.09.2015.
4. Смирнов С.В. Температурная зависимость спектров излучения светодиодов белого свечения на основе нитрида галлия и его твердых растворов // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2 (24), Ч. 2. – С. 55–58.
5. Никифоров С.Г. Прогноз срока службы и изменения параметров промышленных светодиодов при наработке с помощью фотометрического метода // Инновации и инвестиции. – 2015. – № 1. – С. 152–156.

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
УЧЕТА И КОНТРОЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

С.Д. Бабкин

Научный руководитель: старший преподаватель, А.В. Годовых
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: sdb1@tpu.ru

**CONCEPTUAL BASES OF DESIGN OF INFORMATION SYSTEMS OF ACCOUNTING AND
CONTROL OF RADIOACTIVE WASTES**

S.D. Babkin

Scientific Supervisor: Senior Lecturer A.V. Godovykh
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: sdb1@tpu.ru

***Abstract.** This paper presents the conceptual basis of the automation of accounting and control of radioactive wastes in the framework of separately taken facility. Accounting and control of radioactive wastes is one of the primary measures aimed at ensuring the safety of radioactive waste management. The effectiveness of the accounting and control procedures can be significantly increased by implementation of specialized information system. System based on the concept of using of technology of automated data collection and processing allows to provide continuous accounting and control even in the case of facilities with complex infrastructure, to increase staff efficiency, to improve the accuracy of accounting and reporting data, to reduce the radiation exposure to staff. This work was performed as part of the development of information systems of accounting and control of radioactive wastes.*

Обращение с радиоактивными отходами (РАО) на предприятии включает в себя несколько стадий: начиная от сбора/получения и заканчивая передачей РАО на окончательную изоляцию (захоронение). Так как РАО представляют собой угрозу для человека и окружающей среды, то требуется осуществление комплекса мер, направленных на обеспечение безопасности их обращения на всех этапах их жизненного цикла [1].

Одной из таких мер является проведение непрерывного учета и контроля РАО, имеющих на предприятии, направленного на обеспечение наличия полной, достоверной, оперативной и актуальной информации о них.

Деятельность по учету и контролю РАО проводится в рамках функционирования многоуровневой системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов (СГУК РВ и РАО) – первичная учетная и отчетная информация подготавливается и передается в аналитические центры СГУК РВ и РАО [2].

В рамках обращения РАО претерпевают несколько технологических переделов, изменяющих их характеристики. Вследствие этого, информационное обеспечение процессов работы с РАО связано с

генерацией, сбором, хранением, обработкой большого количества разнообразных данных, что неизбежно приводит к возникновению ошибок в учетной и отчетной документации, повышенным трудовым и временным затратам.

По этой причине целесообразной является организация автоматизации процессов учета и контроля РАО, в части процессов обработки целевой информации и формирования целевой информационной продукции – учетных и отчетных документов, информационных массивов. Инструментом осуществления информационной поддержки является информационная система (ИС), представляющая собой совокупность информации, процедур, технических, программных, технологических средств и специалистов, предназначенную для обработки информации. Использование таких ИС является удобным и эффективным инструментом, дополняющим уже существующие общесистемные решения в области учета и контроля, при реализации этих задач.

Инфраструктуру обращения с РАО предприятия можно представить, как систему пунктов обращения с РАО – территориально и административно обособленных зон, на которых осуществляется та или иная технологическая операция (сбор/получение, переработка, кондиционирование, временное хранение, передача в другую организацию и т.д.).

Вопрос обеспечения доступа к ресурсам ИС в рамках пространственно-распределенного объекта обеспечивается отдельными сертифицированными по особым требованиям точками доступа – клиентами.

Сеть из таких точек доступа, ее топология определяется особенностями инфраструктуры обращения с РАО предприятия – клиентская программно-техническая часть располагается на каждом пункте обращения и осуществляет сбор первичных данных. В состав клиентской части входят мобильные терминалы, автоматизированные рабочие места, средства считывания идентификационной маркировки и, если это необходимо, установки характеристики (например, гамма-спектрометры). Серверная часть ИС представляет собой сервер, на котором происходит накопление и обработка данных, поступающих с клиентской части ИС. Информация, находящаяся в базе данных сервера ИС и циркулирующая в каналах связи, защищена от несанкционированного доступа и изменений.

Отдельным элементом описываемой ИС можно выделить средства автоматизированного сбора данных. Нанося на объекты учета (учетные единицы РАО) маркировку, содержащую машиночитаемый код, в который записан уникальный идентификационный признак (идентификационный код, генерируемый системой), и доступную для считывания средствами вычислительной техники, можно на каждом шаге технологической цепи обращения с РАО организовать автоматизированный учёт выполняемых операций и регистрацию учётных единиц, поступающих на очередной этап обращения, на пункт обращения РАО. Использование автоматизированной идентификации объектов учета позволяет не только регистрировать пребывание учетной единицы на том или ином пункте обращения и изменение ее характеристик в результате выполнения над ней технологической операции, а отследить всю историю учетной единицы, что актуально в случае если она была объединена с другими единицами в одну или разделена на несколько.

Вся требуемая учетная и отчетная документация, передаваемая в органы государственного управления и регулирования, СГУК РВ и РАО, формируется ИС на основе первичных данных, накопленных на сервере системы.

Исходя из представленной выше идеи автоматизации процессов учета и контроля с помощью ИС, в рамках работы были сформулированы основные принципы функционирования ИС:

- принцип ориентации на бизнес – функционально ИС должна охватывать все основные процессы обращения с РАО в рамках отдельно взятого предприятия;
- принцип доступности исторических данных – при формировании описания учетной единицы РАО необходимо обеспечить накопление информации обо всех предшествовавших операциях и состояниях учётных единиц РАО, их происхождении (включая место), необходимой для уяснения причин возникновения текущего (настоящего) состояния объекта учета;
- принцип однократного ввода и повторного использования информации – в процессе обращения с РАО в ИС обеспечивается однократный ввод информации об учётной единице в месте ее образования и повторное использование зарегистрированной информации на других пунктах обращения, и при регистрации перемещения учётных единиц РАО;
- принцип вторичности документооборота – пользователи не формируют самостоятельно отчетных и сопроводительных документов – документы автоматически формируются на основе первичных данных, собранных клиентской частью ИС;
- принцип непрерывного учёта и контроля учётных единиц РАО – ИС должна обеспечивать регистрацию учётных единиц РАО с фиксацией передачи зоны ответственности вместе учётной единицей РАО при перемещении между пунктами обращения и между организациями, участвующими в обращении с РАО (реализован регистрацией всех операций с РАО с помощью технологии автоматизированного сбора данных с помещением данных в единое хранилище).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон Российской Федерации от 29.07.2011 г. N 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. – 18.07.2011. – N 29. – ст. 4281.
2. Приказ Ростехнадзора от 31.01.2012 г. N 67 «Об утверждении федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Основные правила учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в организации» (вместе с «НП-067-11. Федеральные нормы и правила...») [Зарегистрировано в Министерстве юстиции РФ 29.03.2012 г. N 23652]. – Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти от 02.07.2012 г. – N 27.

**ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ЭЛЕКТРОННЫМ
ПУЧКОМ В ФОРВАКУУМЕ**

И.Ю. Бакеев, А.А. Зенин, А.С. Климов

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: bakeeviyu@mail.ru

**THE FEATURES OF DIELECTRIC POWDER PROCESSING BY ELECTRON BEAM IN THE
FOREVACUUM PRESSURE RANGE**

I.Yu. Bakeev, A.A. Zenin, A.S. Klimov

Scientific Supervisor: Associate prof., Ph.D. Yu.A. Burachevsky

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

E-mail: bakeeviyu@mail.ru

***Abstract.** We investigated the irradiation of alumina ceramic particles by the electron beam generated in the forevacuum pressure range. It is shown that the spread of the alumina ceramic particles is possible in this case. This is mainly caused by intensive outgassing from the powder surface. It is shown that to avoid of particles spread the beam power density could increase gradually. These results demonstrate the possibility of application of the forevacuum electron beam source for synthesis (sintering) of pattern from the dielectric powders, for example 3D-prototyping of various types of ceramics.*

Введение. В настоящее время для изготовления изделий сложной формы из различных сплавов, например, биомедицинских протезов из титана [1], активно применяется технология ЕВМ (electron beam melting), имеющая ряд преимуществ над технологиями, в которых инструментом обработки является лазерный луч. Среди них – простота управления электронным лучом с помощью электромагнитных отклоняющих систем, высокая мощность луча. Но при этом даже во время обработки металлического порошка электронным лучом, генерируемым в традиционном диапазоне давлений (10^{-1} – 10^{-3} Па), частицы порошка могут разлетаться за счет заряда их до высоких потенциалов [2]. Данным эффектом и осложнена разработка электронно-лучевой технологии прототипирования изделий из диэлектрических порошков.

Генерация и транспортировка электронных пучков в форвакуумной области давлений (1–100 Па) делают возможной обработку диэлектрических материалов. Это обусловлено компенсацией заряда диэлектрика потоком ионов из пучковой плазмы [3]. Таким образом, целесообразным является изучение возможности использования электронных пучков, генерируемых в форвакуумной области давлений, для обработки диэлектрических порошков и выявление особенностей этого процесса.

Методика эксперимента. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Эксперименты проводились с порошком алюмооксидной керамики 1, средний размер частиц которого составлял 100 мкм. Порошок в тигле 2, выполненном из кварцевого стекла, помещался в вакуумную

камеру 3, откачиваемую форвакуумным насосом. При этом давление P остаточного газа в камере регулировалось непосредственной подачей рабочего газа (воздуха) и до взаимодействия электронного пучка с порошком составляло 8 Па. Генерация непрерывного электронного пучка 4 производилась электронным источником на основе тлеющего разряда, размещаемого на фланце вакуумной камеры. Подробное описание источника приведено в [4]. Зажигание тлеющего разряда осуществлялось при подаче напряжения U_d источником питания разряда 5 между полым катодом 6 и анодом 7, для извлечения электронов из разрядной плазмы 8 в котором выполнено эмиссионное окно, перекрытое перфорированным электродом 9 с множеством отверстий. Ускорение электронов производилось напряжением U_a , прикладываемым между анодом 7 и ускоряющим электродом 10. Фокусировка пучка осуществлялась магнитным полем катушки 11. Ток пучка оценивался по току I_e в цепи источника ускоряющего напряжения 12. Диаметр пучка составлял 7–10 мм. В ряде экспериментов осуществлялась развертка электронного луча в виде прямоугольника размером 1,3 на 1,2 см магнитной отклоняющей системой 13, на катушки которой подавался синусоидальный сигнал с соотношением частот 1:30. При этом использовался перфорированный электрод, имеющий одно отверстие по центру диаметром 0,75 мм и 12 отверстий диаметром 0,6 мм, находящихся по периметру, и диаметр пучка составлял порядка 1 мм.

Результаты экспериментов. При мгновенном облучении керамического порошка электронным пучком, как и в случае традиционного диапазона давлений, происходит сильный разлет частиц (рис. 2), причем интенсивность данного разлета напрямую зависит от плотности мощности пучка.

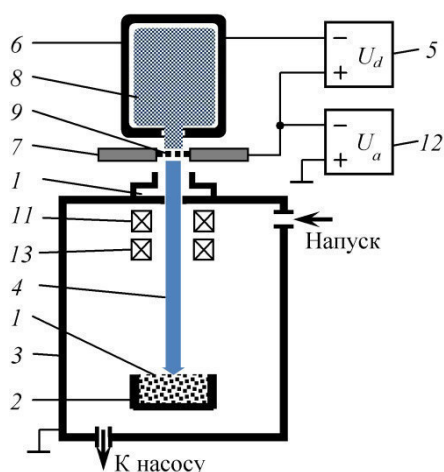


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – порошок алюмооксидной керамики; 2 – тигель; 3 – вакуумная камера; 4 – электронный пучок; 5 – источник питания разряда; 6 – полый катод; 7 – анод; 8 – эмиссионная плазма; 9 – перфорированный электрод; 10 – экстрактор; 11 – магнитная фокусирующая катушка; 12 – источник ускоряющего напряжения



Рис. 2. Разлет частиц порошка при мгновенном облучении электронным пучком (плотность мощности электронного луча $P_s = 120 \text{ Вт/см}^2$)

Снятые зависимости давления газа в камере от времени с момента облучения порошка (рис. 3) свидетельствуют об интенсивном газовыделении с поверхности частиц облучаемого порошка. При повышении плотности мощности пучка растет как давление в вакуумной камере, так и длительность обезгаживания (рис. 3). Данные эффекты можно объяснить тем, что при повышении плотности

мощности пучка повышается температура облучаемых на поверхности частиц, что влечет за собой прогрев большего объема порошка и тем самым увеличение интенсивности газовыделения и времени, затрачиваемого на обезгаживание. При малых плотностях мощности и постепенном прогреве, несмотря на повышение давления, разлета частиц удалось избежать, что позволило в конечном итоге спечь частицы порошка алюмооксидной керамики (рис. 3). Исходя из данных результатов, следует, что в форвакуумной области давлений интенсивное газовыделение играет существенную роль при разлете порошка.

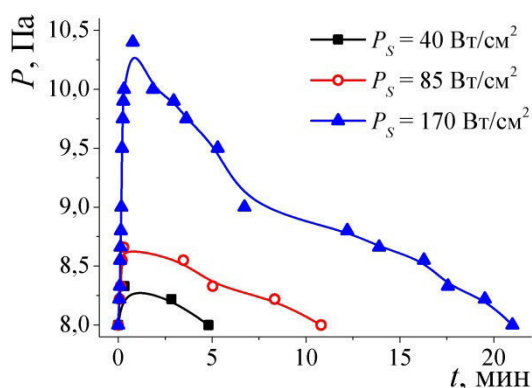


Рис. 3. Зависимости давления газа P в камере от времени t с момента облучения порошка при разных плотностях мощности P_s электронного пучка

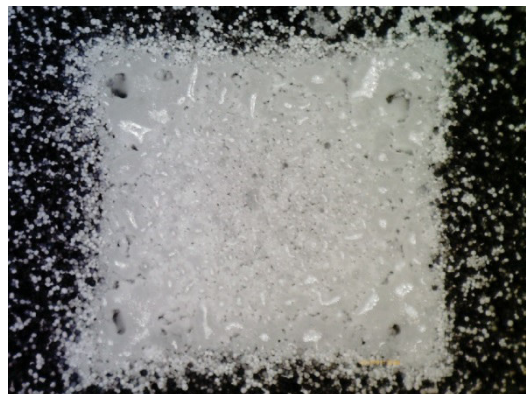


Рис. 4. Изображение поверхности спеченных частиц алюмооксидной керамики с использованием развертки (плотность мощности пучка повышалась постепенно)

Заключение

Показано, что при облучении поверхности порошка алюмооксидной керамики электронным пучком, генерируемым в форвакуумной области давлений, возможен разлет частиц, что преимущественно обусловлено интенсивным газовыделением с поверхности порошка. Избежать разлета частиц удалось постепенным повышением плотности мощности пучка. Данные результаты свидетельствуют о применимости форвакуумного электронного источника для синтеза (спекания) материалов из диэлектрических порошков, в том числе, для 3D-прототипирования различных видов керамик.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-08-00871-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Heidl P., Muller L., Korner C. et al. Cellular Ti-6Al-4V structures with interconnected macro porosity for bone implants fabricated by selective electron beam melting. // Acta biomaterialia. – 2008. – V. 4. – P. 1536–1544.
2. Sigl M., Lutzmann S., Zah M.F. Transient Physical Effects in Electron Beam Sintering // Solid Freeform Fabrication Symposium Proceedings 17. – Austin, Texas/USA, 2006. – P. 397–405.
3. Burdovitsin V.A., Dvilis E.S., Medovnik A.V. et al. Surface structure of alumina ceramics during irradiation by a pulsed electron beam // Technical Physics. – 2013. – V. 58. – No. 1. – P. 111–113.
4. Бурачевский Ю.А., Бурдовицин В.А., Мытников А.В., Окс Е.М. О предельном рабочем давлении плазменного источника электронов на основе разряда с полым катодом // Журнал технической физики. – 2001. – Т. 71. – Вып. 2. – С. 48–50.

**ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ОБРАЗЦОВ ПРИ
ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ В ТЕРАГЕРЦОВОМ
СПЕКТРОМЕТРЕ**

В. Ю. Выговский, А. И. Бердюгин

Научный руководитель: инженер, к.ф.-м.н., А.В. Бадьин

Национальный исследовательский Томский государственный университет

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

E-mail: vigovskiyv1994@mail.ru , Alex001@sibmail.com , alekcahdrr@gmail.com

**APPLICATION OF MICROCONTROLLERS FOR HEAT SETTING OF SAMPLES UNDER
ELECTROPHYSICAL PROPERTIES RESEARCH OF MATERIALS ON TERAHERTZ
SPECTROMETER**

V. Yu. Vigovskiy, A. I. Berdyugin

Scientific Supervisor: Ph.D., A. V. Badin

National research Tomsk state university, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: vigovskiyv1994@mail.ru , Alex001@sibmail.com , alekcahdrr@gmail.com

Abstract. *Authors proposed method of thermal stabilization of samples at investigation of electrical properties of materials using Arduino microcontroller. Special attention given to implementation of inertialess heat of samples. Dependences of temperature fluctuations from time presented.*

На сегодняшний день терагерцовый диапазон частот является перспективным для исследований, но в тоже время слабо освоенным. Исследования материалов различной природы в терагерцовом диапазоне частот позволяет получить новые знания об их электрофизических свойствах [1]. Область применения таких знаний крайне обширна. Она затрагивает многие стороны научного прогресса, начиная от создания всевозможных радиопоглощающих материалов, позволяющих снизить отрицательное влияние электромагнитного излучения на биологические объекты, заканчивая изучением свойств материалов, предназначенных для создания излучения огромной мощности. Однако необходимо понимать, что существуют факторы, влияние которых на результаты проводимых исследований часто остаются нерассмотренными. Значительное влияние на параметры материалов оказывает температура образца, поддержание которой в строго заданных пределах является сложной и трудоемкой задачей. Сложность в первую очередь связана с тем, что системы регулирования и поддержания температуры являются инерционными. Немаловажным является и то, что такая система должна быть подключена непосредственно к образцу, который помещен в измерительную ячейку. Поэтому необходимо решить одну из главных технических задач - безынерционное регулирование температуры исследуемого образца в квазиоптическом тракте терагерцового спектрометра.

Температурное воздействие на образец материала осуществляется с помощью керамических нагревателей, размещенных вокруг диафрагмы, на которую крепится образец. В качестве программно-аппаратной части были использованы следующие устройства: платформа Arduino Uno [2], датчик

температуры DS18B20, выполняющий роль обратной связи, LCD-дисплей и матричная клавиатура в качестве устройств ввода-вывода и источник питания. На языке C++ была написана программа, позволяющая выполнять безынерционный нагрев образца и поддерживать температуру в заданных пределах. Блок-схема данной программы представлена на рисунках 1 и 2.

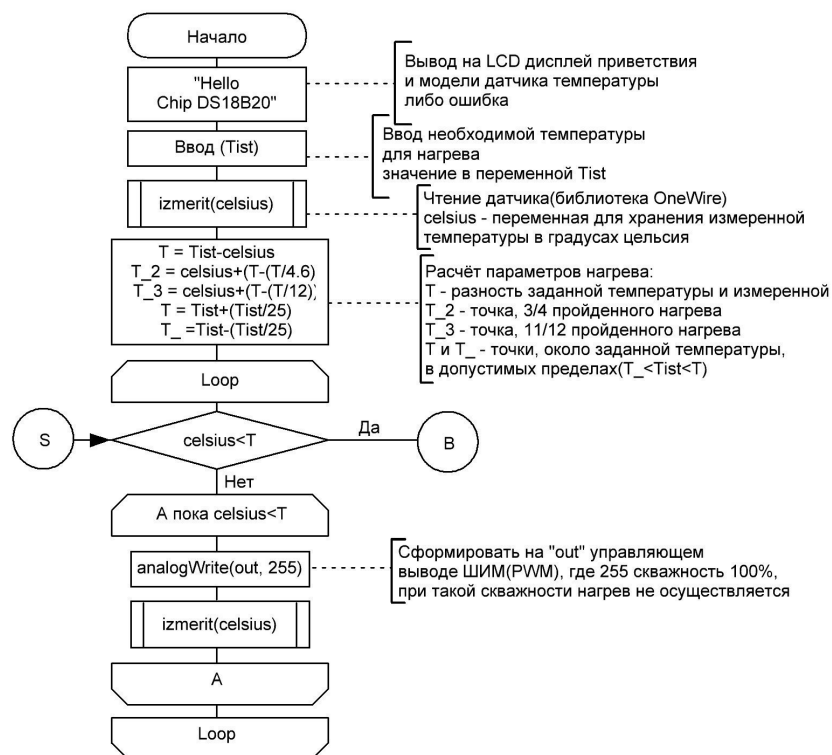


Рис. 1. Блок-схема программы (лист 1)

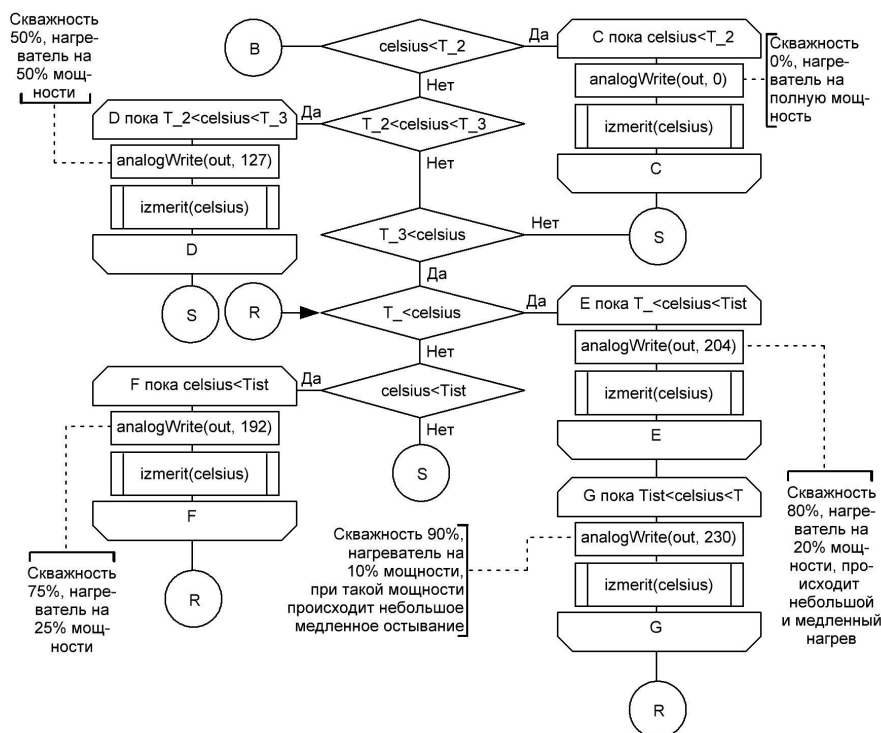


Рис. 2. Блок-схема программы (лист 2)

Алгоритм программы заключается в следующем: задание необходимой температуры образца; расчет скорости нагрева для уменьшения инерции; нагрев образца при постоянном контроле температуры; отображения данных на дисплее. Важно отметить, что при приближении температуры образца к заданной производится периодическая корректировка нагрева. В программе организован интерфейс с подсказками для простоты и удобства управления устройством безынерционного нагрева образца.

Как было указано выше, поддержание температуры в заданных пределах является ключевой задачей. Именно поэтому был осуществлен контроль инертности системы. Для этого были сняты зависимости флуктуации температуры с течением времени от заданного значения, которые представлены на рисунке 3.

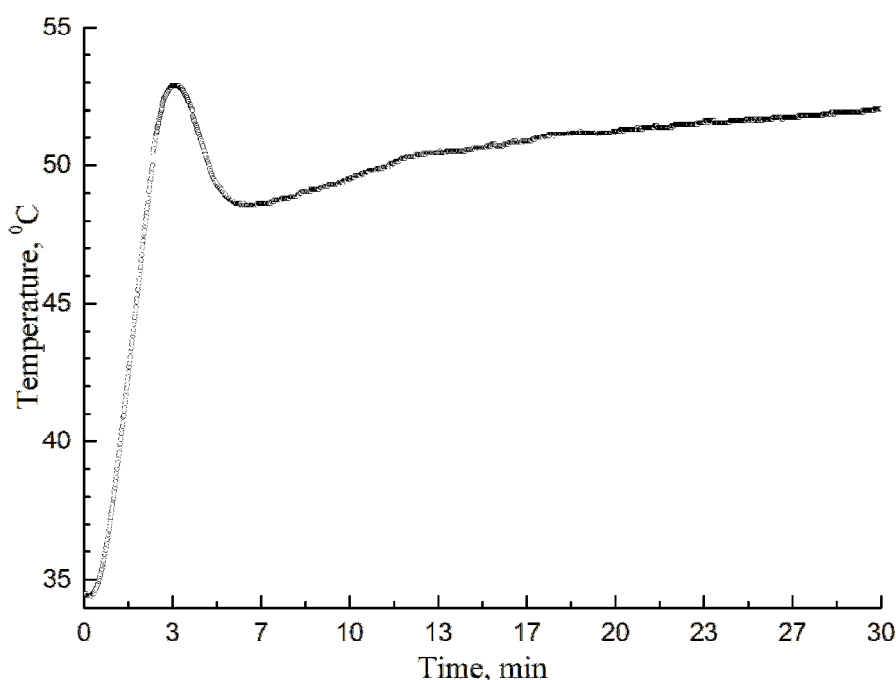


Рис.3. Зависимость флуктуации температуры с течением времени

Апробация рабочего лабораторного макета температурного модуля была произведена в составе интерферометра Маха-Цандера в центре коллективного пользования "Центр радиофизических измерений, диагностики и исследования параметров природных и искусственных материалов" Национального исследовательского Томского государственного университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочеткова Т.Д., Суляев В.И., Дорожкин К.В. Комплексная диэлектрическая проницаемость древесины в терагерцовом диапазоне // Изв. вузов. Физика. – 2013. – Т. 56. – № 8/3. – С. 85–87.
2. Блум Д. Ардуино. Базовый набор. Руководство пользователя. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 36 с.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ
АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

О.В. Булгакова, Ю.В. Шульгина, Е.М. Шульгин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: illoisa@mail.ru

**MATHEMATICAL MODELING OF THE LINEAR PHASED ARRAY APPLICATION FOR
BREAST CANCER DIAGNOSIS**

O.V. Bulgakova, J.V. Shul'gina, E.M. Shul'gin, A.I. Soldatov

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

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: illoisa@mail.ru

***Abstract.** The paper presents a method of SPA. The article shows the processing algorithm of data, which is obtained from phased arrays. The possibility of using SPA method for the breast cancer diagnosis is shown. Processing results in the Math Lab package are present.*

На настоящее время рак груди всё ещё является самым частым заболеванием у женщин. Вследствие этого заболевания по-прежнему умирает примерно 20 000 пациенток в год [1]. Ранняя диагностика важна, поскольку шансы на лечение и выздоровление тем больше, чем меньше по размеру опухоль на момент её обнаружения. Определяемая на ощупь опухоль, как правило, уже имеет размер примерно 2-3 см. В настоящий момент для диагностики, помимо маммологии, активно применяется ультразвуковое исследование молочной железы. Существующие устройства имеют один излучатель и один приемник, что делает снятие точных характеристик новообразования достаточно трудоемким процессом. Для упрощения снятия характеристик удобнее всего использовать фазированные антенные решетки (ФАР). Однако у устройств на основе ФАР сейчас существует серьезный недостаток – высокая цена, связанная с необходимостью использовать мощные процессоры для быстрой обработки полученных данных. Решить эту проблему способны программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), их применение позволит существенно сократить время обработки и вывода результатов.

Для реализации устройства был выбран метод тактированной фазированной решетки или SPA (Sampling phased array), разработанный во Фраунгоферовском институте неразрушающих методов контроля (Германия). Суть этого метода заключается в поочередном возбуждении элементов антенной решетки и параллельном приеме всеми элементами отраженных сигналов [2]. Для пояснения работы метода необходимо привести схематическое изображение принципа работы метода SPA.

Для начала исследуемая область условно разбивается на минимально необходимое число точек, под выбранное разрешение строится программа обработки. Для получения данных необходимо, чтобы в

одном положении был пройден полный цикл приема-передачи. Все элементы решетки излучают по очереди, при этом в каждом такте все элементы принимают сигналы.

Обработка полученных данных происходит согласно алгоритму, приведенному на рис. 1.

Расчет времени прохождения пути лучом происходит по следующим формулам:

$$L = L_1 + L_2$$

$$L_1 = \sqrt{y^2 + x_1^2}$$

$$L_2 = \sqrt{y^2 + x_2^2}$$

где L_1 – путь луча от источника до точки, L_2 – путь луча от точки до приемника, y – глубина расположения точки, x_1 – расстояние от излучателя до точки по горизонтальной оси, x_2 – расстояние от точки до приемника по горизонтальной оси.

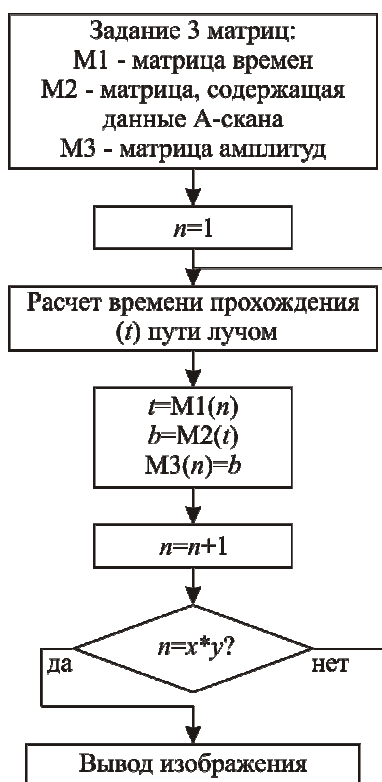


Рис. 1. Алгоритм работы программы

Визуально принцип работы метода состоит в следующем:

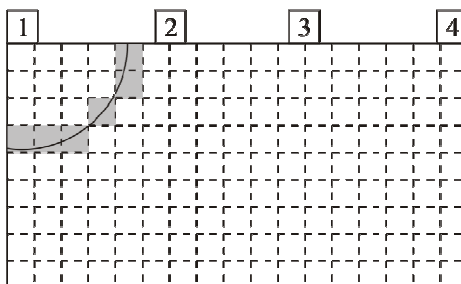


Рис. 2. Получение изображения участка с измененной плотностью при работе 1 канала

При однократном излучении определить геометрические размеры неоднородности не представляется возможным, так как в этом случае будет выявлено только расстояние до участка с измененной

плотностью (см. рис. 2.). В определении точного места положения неоднородности и ее геометрических размеров помогут следующие циклы приема-передачи ультразвуковых волн (см. рис. 3).

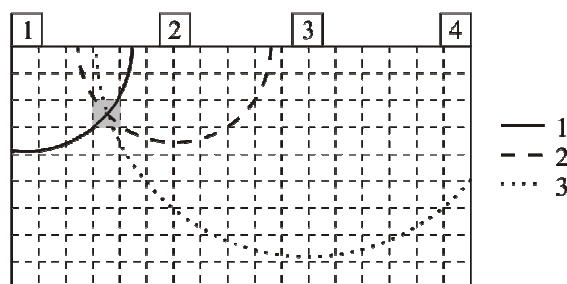


Рис. 3. Получение изображения участка с измененной плотностью при работе 3 каналов

С увеличением количества приемников и излучателей увеличивается точность нахождения положения и формы участка, отличного от нормального состояния.

Следуя приведенному выше алгоритму, была составлена программа для моделирования обработки данных с пакета Math Lab. Рассматривался случай с 5 излучающими датчиками. В качестве обрабатываемых данных взяты реальные А-сканы.

В результате моделирования было получено следующее изображение:

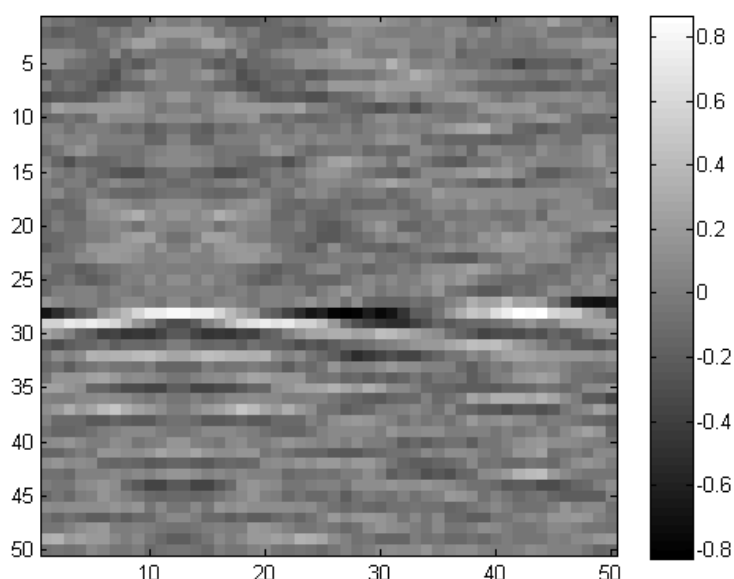


Рис. 4. Результат математического моделирования при наличии неоднородности в исследуемом объеме

По изображению очевидно, что примерно в середине исследуемого объема присутствует область с измененной плотностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кваша Е.А., Харьков Т.Л. Статистико-демографический анализ смертности от рака молочной железы в России // Вопросы статистики. – 2006. – № 8. – С. 25–33.
2. Асочаков А.С. Метод обработки ультразвукового сигнала фазированной антенной решетки // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: Труды V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск, 2015. – Т. 1. – С. 230–233.

**BUILDING REUSABLE PREDICTION MODELS FOR TECHNOLOGICAL DATA USING
BUSINESS INTELLIGENCE TOOLS**

A.V. Vaytulevich, F.V. Stankevich

Scientific Supervisor: Docent, Dr. A.V. Kudinov

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

E-mail: vaanval@gmail.com

**СОЗДАНИЕ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

А.В. Вайтулевич, Ф.В. Станкевич

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

Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2, 634050

E-mail: vaanval@gmail.com

***Аннотация.** Большинство предприятий, занятых в сфере добычи нефти и газа, используют автоматизированные системы для мониторинга состояния оборудования. Процесс мониторинга может создавать большие объёмы данных. Поскольку эти данные потенциально могут содержать ценные с точки зрения улучшения технологического процесса знания, требуется их анализ. Ввиду сложности создания и поддержания моделей прогнозирования на основе таких данные, требуется использование методов для создания моделей, которые могут быть использованы повторно. В данной работе предлагается технология, представляющая собой последовательность шагов по созданию переиспользуемых моделей интеллектуального анализа данных нефтегазового оборудования.*

Introduction. Full-scale use of information systems in industry over the last 10 years yielded vast amounts of stored technological data. This allowed researchers to reconsider approaches to optimize key business processes (production, sales and resource management) based on retrospective analysis of said data. Due to its high volumes specialized tools should be used for such analysis, including various Business Intelligence (BI) approaches [1]. Introducing BI support into business processes can be impeded by need to use expert knowledge to build relevant models, as well as to verify analysis results. Presented research focuses on the methods and instruments aimed to apply data mining to analyze the data generated by oil wells. We will analyze such data and use it to predict various parameters of oil wells and to prevent upcoming equipment failures. In order to implement data mining solutions CRISP-DM will be used, since it incorporates iterative approach needed for countering possible design flaws [2].

Research area analysis. Many oil production companies equip most of their oil with automatic technological parameters registering systems which monitor oil production and related processes. Internal regulations of a company usually dictate a certain procedure used to collect data (i.e. how frequently measurements are made, how they are filtered and stored), which may generate dozens of values per second for a single object leading to a big data archive being stored.

The state of an oil well can be described by a set of parameters associated with equipment sensors and sensors measuring physical parameters of underground oil layers. Analyzing an oil well state allows estimating its future production, as well as predicting possible equipment failures. Predictions of similar parameters may vary depending on oil well type (production wells, exploration wells or injection wells) or on geological structures involved. An average oil well penetrates several oil layers with varying physical properties like pressure or temperature. However, these properties can be the same for different wells, given the same layer is penetrated. Therefore a single model based on similar physical properties can hypothetically be built which can then be reused for multiple oil wells. This will allow reducing the amount of models needed (compared to having a unique model for each oil well), cutting costs for their creation, storing and managing. In addition, some wells (which are mostly newly drilled) may have no historical data stored. By using a model associated with a similar well one can estimate possible short-term output using only current data from a new well.

Implementation. Oil wells with most data stored were determined by means of plain statistical analysis prioritizing the most recent data (less than 5 years old). A list of 45 oil wells of each of possible 3 types (exploration, injection and producing wells) was formed. Visual analysis of plotted data confirmed that some technological parameters of an oil well may have high correlation. Hence, the main goal for the next steps is to detect groups of such highly-correlating technological parameters to build models upon. A model would then consist of a set of parameters that correlate well for most oil wells.

A model using Microsoft Decision Tree Algorithm was trained for each well using the values of all parameters of the well. Since values for each parameter were not evenly distributed in time, the training set was

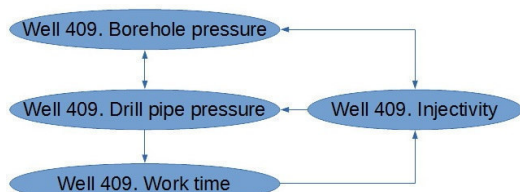


Fig 1. Example of parameters correlation graph

split into equal time periods. The values of each parameter were then interpolated to match the starts of these periods, thus forming a uniform grid having timestamps as its lines and technological parameters as its columns. The modeling resulted in both correlation diagrams (Fig. 1) and its numeric representations [3].

The resulting correlations contained information on correlations within separate oil wells only. To build models applicable for multiple wells data had to be further analyzed using a different algorithm. To do this the data was first aggregated into a combined adjacency matrix for all correlation graphs acquired in the previous step with intersections representing correlation value aggregated from all models where a specific pair of parameters was present. Preliminary manual analysis of the resulting matrix, however, showed that some parameter pairs had high correlation values while being present only in minority of oil wells which had to be filtered out. To do this, a model allowing us to classify each parameter pair as being either “reliable” or “unreliable” had to be built (where “unreliable” would mean aforementioned rare occurrences). A total of 68 % of remaining data was removed using this. The filtered training set containing only reliable correlations could finally be used to form groups of parameters which were strongly linked in most training sets. To do this, filtered correlation matrix was used as input to another clustering model which split training data into said groups. As a result clusters of parameters were obtained and could be used to train corresponding universal prediction models (Fig. 2).

These models used Microsoft Time Series Algorithm for short-term prediction. Unaltered data from parameter groups was used to train these models, with a single model assigned to each group. Before deployment each prediction model’s accuracy was estimated using data from other wells.

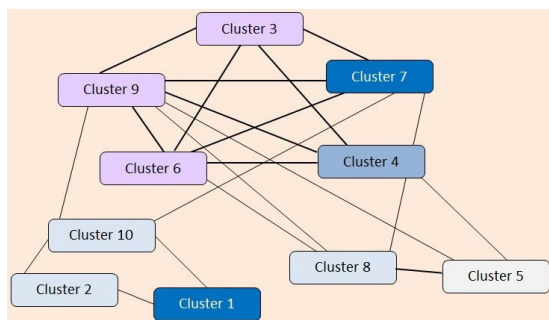


Fig. 2. Universal technological parameter clusters

Results. We have discussed and developed a technology that is able to identify groups of strongly correlating technological parameters which can be used to create prediction models suitable for most oil wells of a given oil field. This technology was used to determine parameter groups and build corresponding prediction models for a single oil field of an oil enterprise in Western

Siberia. The quality of resulting models was evaluated against testing data in five cases: (1) single prediction, by using a model built for a specific oil well, (2) single prediction for one parameter type, by using a model built for a specific parameter type, (3) group prediction, by using a reusable group model, (4) group prediction without data, by using aforementioned models to predict data for newly drilled wells. Several existing approaches estimating mean absolute error (MAE) and mean absolute percentage errors (MAPE) to estimate model quality of were used [4]. As a result of the model testing, single prediction proved to be most precise method with 3.15 % error for 969 test cases for one-day prediction. This, however, cannot be used in real-world scenario due to high amount of technological parameters each oil well has (350 on average). Suggested approach of using universal reusable parameter group models showed 8.71 % error which was considerably lower than when using linear approximation (23.1 % error). Additionally, it could be used to predict technological parameter values even when no data was present (in case of new oil wells) with error slightly lower (22.47%) than using linear approximation for oil wells with historical data (23.1 %).

Conclusion and future research. The result of this work is an approach for building reusable prediction models of technological data of oil wells composed of five steps: (1) determining of oil wells that are used as training data sources; (2) determining dependencies in technological data within separate oil wells; (3) classification of these dependencies into “reliable” and “unreliable”; (4) clustering of dependencies to determine the groups of dependent technological data; (5) training reusable models based on these groups and estimating their quality.

The prototype of intelligence data analysis system of technological data of oil production was created as the result of this work. The prediction accuracy for reusable group models was 91.29 % using mean absolute percentage error for estimation (error being 8.71 %) for 969 data samples for one day prediction compared to later obtained data.

REFERENCES

1. Rud O. Business Intelligence Success Factors: Tools for Aligning Your Business in the Global Economy. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. – 283 p.
2. Azevedo A., de Amorim J.L. KDD, SEMMA and CRISP-DM: A parallel overview. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2004.
3. Resources and Tools for IT Professionals. Data Mining Algorithms [Electronic resource]. – Retrieved 01.04.2014 from <http://technet.microsoft.com/en-us/library/ms175595.aspx>.
4. Chuchueva I. The main estimates for the accuracy of time series prediction [Electronic resource] // Mathematical Bureau. – Retrieved 01.04.2014 from <http://www.mbureau.ru/blog/osnovnye-ocenki-tochnosti-prognozirovaniya-vremennyh-ryadov>.

**OPTIMIZING NFC PERFORMANCE ON A WEARABLE DEVICE USING
EVOLUTIONARY ALGORITHM**

A.V. Vaytulevich

Scientific Supervisor: Docent, Dr. A.V. Kudinov

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

E-mail: vaanval@gmail.com

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ МОДУЛЯ NFC НА НОСИМОМ УСТРОЙСТВЕ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВОЛЮЦИОННОГО АЛГОРИТМА**

А.В. Вайтулевич

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

Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2, 634050

E-mail: vaanval@gmail.com

***Аннотация.** Использование NFC в носимых устройствах может позволить использовать их в таких областях, как интерактивное обучение и системы безопасности. В настоящее время на рынке отсутствуют носимые устройства с полной поддержкой NFC. Включение NFC на таких устройствах вызывает повышенный расход батареи устройства. В данной статье предлагается метод настройки параметров NFC, учитывающий ограничения, накладываемый носимыми устройствами на тестирование конфигурации. В результате проделанной работы была создана конфигурация NFC, близкая к оптимальной.*

Introduction. The last few years have seen a considerable growth in the amount of consumer wearable devices equipped with various sensors. By obtaining a functioning NFC module on such device, it would become possible to use them in contactless payment systems or facilitating access control by replacing smart cards [1]. Despite benefits from these applications there are currently no devices that both have a programmable NFC chip on board and provide any kind of API to control it [2]. One of such systems is the recent Sony SmartWatch 3 running on Android. The whitepaper released by its manufacturer suggests that its system on chip (SoC) may have a fully functional NFC controller built into it [3]. During one of our projects, we have successfully used Sony SmartWatch 3 as an NFC-reading device. In a collective effort between Gazprom transgaz Tomsk, Ltd. and Tomsk Polytechnic University, we have created a system that was designed to assist teaching students operating a gas distributing station. This was achieved by installing customized software that is part of the NFC software stack used by most NFC-supporting Android smartphones [5]. The major problem reported by users was severely increased battery consumption; therefore, a method of configuring the device to facilitate these problems had to be proposed.

Research area analysis. We began to implement our project using Sony SmartWatch 3 as a wearable NFC sensor, since it was the only one claiming to have NFC built into it. Sometime after the initial release Michael Roland proposed that the watch may contain a programmable NFC module in [6] which implies that it can be accessed by custom application and used to exchange data with NFC tags and other NFC-enabled devices. The

stock operating system, however, lacked most of supporting software, which meant that NFC could not be used by our application. To address this, we have used an NFC support stack provided for most Android devices with required hardware [4].

There are approximately 60 parameters defining the work of hardware NFC module within a single configuration file [5]. Some of them can potentially affect overall NFC performance (including effect on device battery life); however, there are no direct recommendations on their effect on the indicators that have to be improved. This suggests creating a system that can conduct automatic tuning of NFC configuration. Therefore, the goal of this research is to design and implement an algorithm that is capable to automatically create and test various NFC configurations on a real Sony SmartWatch 3, while reducing overall battery life impact.

Experimental setup. A straightforward way to approach this is to decrease polling rate. A series of tests were conducted to estimate possible effect of this. Despite this being effective, the effect turned out to be insufficient compared to a stock device without NFC (see table 1). The battery life was reduced from 95.1 % to 64.6 % which still is considerably less than that of a device with stock NFC support. Additionally, further decreasing polling rate turned out to be impractical since responsiveness (i.e. average time required to read a tag after the watch has been put close to it) decreased to more than 2 seconds.

Table 1
The Effect of modifying Polling Rate on
Battery Life for Sony SmartWatch 3

Polling rate, Hz	Battery life decrease, %	Average read time, ms
2	94,3	684,2
1,33	78,6	891,9
1	64,6	1260,4

The battery life B and average response time R were used as a fitness estimation of a configuration being tested; the configuration fitness F is defined in (1).

$$F = B + R / 2000 \quad (1)$$

The B parameter in (1) is normalized, whereas R must additionally be normalized over the maximum range of 2000 milliseconds (determined from maximum response time for reading an NFC tag). Finding an optimal configuration for NFC would then mean finding a configuration with minimal fitness F . Failing to read at least one tag (or having the NFC service stop unexpectedly) would result in marking the candidate as failing (i.e. setting its F to a value high enough to block it from further usage).

Implementation. Of the total of 60 NFC parameters, 20 parameters were left; out of which 8 were continuous, 5 were discrete and 7 were vectors of discrete values. The average number of possible values was determined to be 6 (rounded to nearest integer) for discrete parameters, 10 for vectors of discrete parameters. Therefore, rough search space estimation for discrete values only is $2 \cdot 10^{11}$. With minimum time for testing a single candidate configuration of approximately 3 minutes, the time required for exhaustive search would be deniably high.

To address this issue, an algorithm capable of combing best parameters from best candidate configurations was required. We decided to use a modified genetic algorithm; by doing so, we would allow defining a way for candidate solutions to inherit best parameters from previous iterations by means of crossover and mutation. For this algorithm, configurations were considered individuals, their genomes consisting of a set of parameters that need to be optimized [6]. Crossover was defined as fully exchanging genes between two parent individuals (since rules mixing of each individual parameter would have to be defined otherwise).

To increase algorithm convergence we suggest a way to prevent parameter degrading by using a tree containing the history of all tested parameter values. Each change in configuration is assigned an estimate of its individual effect on overall configuration fitness. This estimation is calculated using (2), where P_{ij} is the

resulting probability that parameter i has contributed into achieving fitness j and N_j is the number of parameters that were changed compared to both of parent individuals.

$$P_{ij} = 1 / N_j, \quad (2)$$

This probability was then used to modify the probability of a given parameter value to be promoted during crossover (see (3), where P_{cross} is the probability of successful parameter crossover and P is overall crossover probability). By using this approach we penalize unfit parameters from propagating to further generations.

$$P_{cross} = P \cdot P_{ij}, \quad (3)$$

The system was run and completed work by reaching configuration fitness plateau in 65,93 hours. A total of 3 recharges were required to complete this work. A total of 1168 candidate configurations were tested over the run

spanning across 41 generations. The resulting battery life decrease was reduced to 19,1 % from the initial 95,1 % (see table 2).

Table 2

Comparing Goal Indicators for Optimized Configuration

Device	Average life on battery, s	Responsiveness, ms	Battery life decrease, %
Sony Xperia Z1	108144,16	n/a	9,2
SW3, Default	4511,67	684,2	95,1
SW3, Optimized	74921,00	2521,9	19,1

way of reducing the amount of required tests was proposed by means of increasing algorithm convergence basing on penalizing genes that drastically reduce model fitness and promoting genes that do otherwise. The proposed algorithm was used to generate a near-optimal configuration for NFC-enabled Sony SmartWatch 3, showing improved performance in all three of conducted tests. The project goals were achieved, however, the device never showed performance improvements comparable to smartphones with NFC support.

Results. The result of this work is an approach to automated configuring of NFC module parameters on a device with limited capabilities of model fitness assessment. A

REFERENCES

1. Kim H.J., Park J.H., Lee J.Y., Ryou J.C. Biometric Authentication Technology Trends in Smart Device Environment // Mobile and Wireless Technology. – 2015. – P. 199–206.
2. Heath A., Apple Watch will replace your car keys, says Tim Cook [Electronic resource] // The Telegraph. – Retrieved 14.04.2015 from <http://www.telegraph.co.uk/technology/apple/watch/11439847/Apple-Watch-will-replace-your-car-keys-says-Tim-Cook.html>.
3. Sony Xperia – Official website: Whitepaper Sony SmartWatch 3 [Electronic resource]. – Retrieved 11.11.2015 from http://www-support-downloads.sonymobile.com/swr50/whitepaper_EN_swr50_smartwatch3_2.pdf.
4. Roland M. Is there NFC on Sony SmartWatch 3 (SWR50)? [Electronic resource] // Josef Ressel Center for User-friendly Secure Mobile Environments. – Retrieved 28.01.2016 from <https://usmile.at/blog/is-there-nfc-on-sony-smartwatch-3-swr50>.
5. NXP Semiconductors – Linux Software Stack Integration Guidelines [Electronic resource]. – Retrieved 28.01.2016 from http://www.nxp.com/documents/application_note/AN11697.pdf.
6. Dieng M., Azais F., Comte M. et al. Study of Adaptive Tuning Strategies for Near Field Communication (NFC) Transmitter Module // Proceedings of the 19th International Mixed-Signals, Sensors and Systems Test Workshop (IMS3TW). – 2014. – P. 1–6.

**POSITION SYSTEM FOR ULTRASOUND SCANNER FLAW DETECTION WITH CONTROL
OF STL FILES**

I.M. Vasiliev

Scientific Supervisor: Ph. D., P.V. Sorokin

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

E-mail: vasiliev_ivan91@mail.ru

**СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНЕРА-ДЕФЕКТОСКОПА С
УПРАВЛЕНИЕМ ОТ STL ФАЙЛА**

И.М. Васильев

Научный руководитель: П.В. Сорокин, к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, ул. Ленина 30, 634050

E-mail: vasiliev_ivan91@mail.ru

***Аннотация.** Данная работа посвящена созданию системы позиционирования для ультразвукового сканера-дефектоскопа. Особенностью данной системы является возможность исследования объектов абсолютно любой формы без построения дополнительных алгоритмов исследования объекта, посредством управления головкой сканера заранее полученным STL файлом, что позволяет значительно снизить время исследования объекта.*

To date, in any industrial production there is the problem of marriage in products. Often, when standards of manufacture's quality are required we can see, that product obtained will not meet the quality requirements stated. A small defect on the surface or inside the product could result in higher costs and unfortunate consequences. To prevent unnecessary costs and preserve the reputation of the company, the manufacturers drew attention to detect these defects and to prevent substandard products into turnover.

Today, there are many ways to determine the presence of a defect:

- The method of deviation from the nominal value

In this method, one or more physical parameters are compared with original calculated nominal values of the parameters of benign details. With this method we can only detect the presence of a defect; its size and position in the details remain unknown. This method is simple and does not require huge investment of resources and time, but it will not give us any information about the location of the defect.

- Method of obtaining one projection

This method considers detail only in one projection, we will see all defects from one side only. We cannot determine the exact location of the defect in the details as in the previous method.

- Multi-axes method

In this method, the object is viewed from several sides, and then the data is synchronized, and we can see the model of the detail. By increasing the number of projections considered, we can significantly increase the accuracy of determining the position of the defects in the part.

This research considers the measurement method in multiple coordinates, because this method can provide more complete information on the defects of details. In order to get information not only on the presence, but also the position of the defect in the detail, we need the exact coordinates of the binding defect to the parameters of the details. To do this, in turn, we need to organize a positional system of the measuring element, which allows to determine the location of the sensor relative to the details.

Possible embodiments of the positioning system measuring element in the multi-axis scanners:

- Mechanical system

The principle of operation of this system is that the sensor moves along a specially exposed legs through the control of motors. Coordinates of the sensor are determined by reading the steps of the motor in either direction. The movement sensor may be implemented by a pair of helical, V-belt transmission, gear reducer and in many other ways. The company «StepMotor» offers positioning system «DriveSets», whose accuracy in a special mode achieves a precision of 0.025 mm. To achieve this result in practice is difficult, because screw set not give a precise movements, and the length of the belts of plastic and rubber depends on the temperature, which can cause backlash, and later inaccurate measurement [4]. The disadvantages also include cumbersome installation, because legs occupy the major portion of the space. Changing the position of the sensor is occupied most of the time, which can be avoided in other positioning systems. The advantages include ease of implementation only.

- Moving manipulator

A feature of this system is the ability to move positioning of the sensor at the details, but not moving the sensor along it (Fig.1). Coordinates sensor detects the amount of turns the wheels or rollers special reader in one direction or another. Such a positioning system may be used to locate defects in the items of simple shape such as rails or pipes.

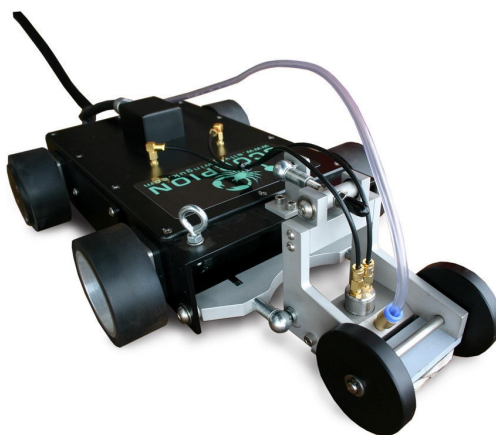


Fig. 1. Roll flaw Silverwing Scorpion BP

The company "Spectrum" provides non-contact ultrasonic flaw detector scanner "A2075 SoNet» with the accuracy of positioning of 1mm. The advantages of this method are the portability of the device, high-speed operation (7m/min), as well as the ability to scan large objects that are difficult to access or rather cumbersome to move. The disadvantage is inability to work on the details of complex shapes and low positioning accuracy.

- Ultrasonic triangulation method

This method is based on the detection waves emitted by three ultrasonic sensors, and determination of the relative position coordinates obtained by the ultrasonic sensor signal. The implication is that the distribution of

the ultrasonic waves will be registered through the vibration transmitted detail. The algorithm for calculating the coordinates obtained of the shape of measurement surface [1]. The method has several advantages as follows: clarity of mapping defects, work in real time, an opportunity to focus on problem areas. Disadvantages of this algorithm is a complexity in obtaining coordinates, inability of working in the automatic mode and also dependence on ultrasound velocity by the environment temperature.

- Optical positioning (optical tracking)

Work of optical tracking systems is based on the same principle as the human stereoscopic vision. Since a person sees with two eyes, he is able to determine how far away an object is and how it is oriented. For the construction of an optical tracking system using from 2 to 24 cameras operating in the infrared and passive infrared reflectors (or active infrared beacons) on disposable objects, the position and orientation of which is necessary to define [2]. Advantages of optical tracking systems are relative simplicity and low cost, small size and weight of the reflectors, the possibility of passive reflectors that do not require power. Disadvantages of optical tracking systems are necessity of accurate calibration of cameras. The larger work area, the more cameras should be installed and the harder the calibration procedure becomes, the low positioning accuracy and angles, the need for direct line of sight between the cameras and reflectors, difficulties in identifying passive infrared reflectors located at different sites.

- Electromagnetic positioning

In the electromagnetic positioning the measured magnetic field strengthens. The magnetic field is the result of passing a current through the electromagnetic coil. The current passing through the coil turns it into electromagnets that can determine its position and orientation in space [3]. Such a system does not work near any metal objects and devices that can affect the electromagnetic field. The advantages of both electromagnetic positioning is good accuracy of the coordinates and angles, does not require time-consuming calibration with a specially prepared room, works with details, which have a complex shape. Disadvantages of the system is necessity to build a specially prepared room that does not contain metallic elements, magnetic sensor mounted on a moving object cannot be made because of the large wireless energy consumption.

In my research, we used a mechanical positioning system, as well as made the laboratory setup for the practical test. In the future we plan to abandon the mechanical positioning system, and to design a system of ultrasonic triangulation for a portable device that allows the system to form a positioning accuracy of which is independent of the mechanical parameters.

REFERENCES

1. Agranat, B. (2007). Fundamentals of physics and technology of ultrasound. The Highest School
2. Kozlowski E. (2002). Art positioning. Around the World, no. 12 (2795). P. 204–280. M.: Retrieved December 1, 2006.
3. Karshakov E. (2003). The calibration of the electromagnetic system relative positioning. UBS, 37, Retrieved October 13, 2006. 250–268 pp.
4. Sawicki S. (2012). Methods and means of nondestructive testing. Electron, 2012, p 54.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ SILVACO TCAD ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ СИЛОВОГО НИТРИД-ГАЛЛИЕВОГО ТРАНЗИСТОРА**

О.И. Демченко

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Д.Д. Зыков

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: demchenko.olga.i@gmail.com

**RESEARCH OF POSSIBILITIES OF SILVACO TCAD FOR PHYSICAL SIMULATION OF
GALLIUM NITRIDE POWER TRANSISTOR**

O.I. Demchenko

Scientific Supervisor: Assistant professor, Ph.D. D.D. Zykov

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

E-mail: demchenko.olga.i@gmail.com

Abstract. *The article introduces benefits and application features of TCAD Silvaco tools. The possibility of using Device Simulation Framework – ATLAS for GaN transistor modeling is shown.*

Для создания перспективных приборов и устройств необходимо использовать современные системы проектирования, в частности, системы приборно-технологического моделирования. Такие системы позволяют численно оценивать влияние различных конструктивных и технологических решений на параметры разрабатываемых устройств, что существенно уменьшает затраты на проведение экспериментов.

На сегодняшний день одним из самых современных программных пакетов для моделирования микроэлектронных устройств является TCAD Silvaco. TCAD Silvaco обеспечивает устойчивую связь между производством и проектированием путем привязки технологического разброса к разбросу схемотехнических характеристик [1]. При этом с использованием дополнительных модулей система разрешает исследовать концепции новых квантово-размерных приборов, для которых еще не определены процессы производства. В качестве таких приборов могут выступать различные модификации НЕМТ-транзисторов на основе GaAs, InP, GaN, AlGaN и SiC квантовых гетероструктур с высокой подвижностью двумерного электронного газа (ДЭГ) в области гетероперехода [2].

Моделирование электрофизических параметров полупроводниковых приборов с ДЭГ в системе TCAD Silvaco осуществляет программный модуль ATLAS. ATLAS имеет модульную архитектуру, которая включает в себя множество инструментальных средств и расширений, таких как: 2D и 3D моделирование на основе произвольных полупроводников, а также приборов на гетеропереходах; моделирование электрических характеристик и приборов с учетом термических эффектов; 2D и 3D моделирование квантовых эффектов в полупроводниковых приборах; проведение 3D термического анализа и т.д. [3].

Общая методика моделирования полупроводникового прибора в пакете ATLAS состоит из нескольких шагов.

1. Задание конструкции гетероструктуры. Необходимо указать параметры слоев: толщину, концентрацию примеси и т.д. Модуль ATLAS функционирует во взаимодействии с другими модулями и программами пакета Silvaco. Так, например, считывание моделируемой структуры можно производить из входного файла, созданного ранее в других модулях Silvaco (ATHENA, DevEdit), или создать структуру непосредственно в модуле ATLAS с использованием соответствующего синтаксиса команд.

2. Генерация расчетной сетки для расчета соответствующих систем электрофизических уравнений в ее узлах, в частности, для решения систем уравнений Шредингера и Пуассона, учитывающих наличие квантовых эффектов в гетероструктурах.

3. Расчёт величины спонтанной и пьезоэлектрической поляризации между слоями. Устройства на основе нитрида галлия обладают как пьезоэлектрической, так и спонтанной поляризацией. Модуль ATLAS предоставляет три различные модели поляризации для GaN. В частности, с помощью последней модели TEN.POLAR можно вычислить не только величину спонтанной и пьезоэлектрической поляризации, а также имеется возможность для расчета механических напряжений в гетероструктурах, возникающий из-за рассогласования параметров кристаллической решетки [4].

4. Расчет концентрации носителей с учетом решения систем уравнений Шредингера и Пуассона и подвижности носителей заряда. Модуль содержит большое количество моделей подвижности зарядов, учитывающие как температурную зависимость, так и зависимость подвижности от поперечной составляющей поля.

5. Выбор численного метода моделирования.

6. Расчет энергетических диаграмм и электрофизических параметров.

7. Анализ характеристик моделируемого прибора. В среде модуля ATLAS возможно проведение основных видов анализа, в том числе анализ по постоянному току DC, частотный анализ AC и анализ переходных процессов. Моделирование переходных процессов может быть осуществлено для источников напряжения в форме кусочно-линейной, показательной и синусоидальной функции. Также в модуле ATLAS предусмотрен алгоритм для автоматического вывода сложных вольт-амперных характеристик. По этому алгоритму возможно автоматическое переключение из режима граничных условий по напряжению в режим граничных условий по току и наоборот. Содержимое выходных файлов представляется в графическом виде.

Для проверки применимости модели используют тестовые данные (измеренные вольт-амперные, вольт-фарадные характеристики и т.д.). Совпадение результатов моделирования и измерений говорит о достоверности полученных данных. Тестирование должно быть целенаправленным и систематизированным, а усложнение тестовых данных должно происходить постепенно [5]. Цель такого исследования заключается в выявлении и оптимизации конструктивных особенностей AlGaIn/GaN - гетероструктур, обеспечивающих улучшение их приборных характеристик (повышение рабочего диапазона частот, увеличение крутизны, пробивного напряжения и т.д.).

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по Соглашению № 14.577.21.0204.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашов А.Г., Крупкина Т.Ю., Лосев В.В., Старосельский В.И. Нанoeлектронные устройства и их модели. Учебное пособие. – М: МИЭТ, 2010. – 98 с.
2. Торхов Н.А., Бабак Л.И., Божков В.Г., Разжувалов А.Н., Сальников А.С. Физическое моделирование GaN/AlGaN НЕМТ наногетероструктур // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2. – С. 145–151.
3. Официальный сайт TCAD Silvaco [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.silvaco.com/products/tcad/device_simulation/atlas/atlas.html. – 08.03.2016.
4. Normally-off AlGa_N/Ga_N HFET with p-type Ga_N Gate and AlGa_N Buffer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.silvaco.com/tech_lib_TCAD/simulationstandard/2012/jan_feb_mar/a2/jan_feb_mar2012_a2.pdf. – 08.03.2016.
5. Основные этапы компьютерного моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://modelir.hut2.ru/etap%20model.htm>. – 07.03.2016.

ДАТЧИК ФИЛАМЕНТА

В.С. Дойчев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: doichevvs@gmail.com

FILAMENT SENSOR

V.S. Doychev

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

E-mail: doichevvs@gmail.com

***Abstract.** The problems, the majority of FDM 3D printers have, are considered in this report. They are - errors, connected with plastic's jamming during it's delivery to 3D printer's extruder and printer's lack of devices that control the printing process. The causes of the arising problems and also the opportunity of modernization of 3D printing's budget systems by adding the device of printed material's control to their structure are analyzed. The experimental model of independent from 3D printer's device, that will control the printing's condition is described in this report.*

В ходе эксплуатации систем FDM (Fused deposition modeling) [1] печати было обнаружено некоторые недостатки, которые, присущи большинству бюджетных FDM 3D принтеров. Среди которых – ошибки, связанные с заклиниванием пластика при подаче его в экструдер 3D принтера и отсутствие на таких принтерах устройств контролирующих процесс печати. В связи с этим возникла задача: проанализировать возможность модернизации бюджетных систем 3D печати, включив в их состав устройство контроля печатающего материала, изготовление экспериментального макета, либо разработать макет независимого от 3D принтера устройства, которое будет контролировать состояние печати.

Анализ проблемы. Одной из причин данной проблемы может быть недостаточное сцепление между роликом подачи и печатающим материалом. В таком случае прут может идти неравномерно и создавать задержки. Но усиление сцепления может привести к тому, что кусочки печатающего материала будут откалываться.

Другой причиной может быть то, что прут во время подачи охлаждает сопло с нагревателем, причем, чем быстрее подача, тем сильнее происходит охлаждение. Если “горячий конец” не справляется с поддержанием необходимой температуры, то прут рано или поздно остынет и застрянет.

В этом случае, если своевременно не обнаружить подобную проблему возможна продолжительная работа 3D принтера вхолостую. 3D объект будет в любом случае испорчен, а часть материала, ресурс систем 3D принтера и электроэнергия потрачены.

Разработка экспериментального макета. Макет устройства был разработан в программе Solidworks [2]. Выбор данной конструкции, показанной на рис. 1, обусловлен ее простотой и мобильностью.

Бобина с печатающим материалом надевается на ось устройства (см. «1» на рис. 1).

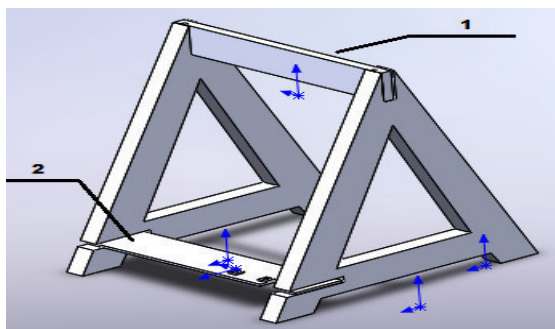


Рис. 1. Макет устройства

Для решения проблемы контроля окончания печатающего материала было предложено использовать оптопару [3] таким образом, чтобы нить печатающего материала протягивалась между излучающим диодом и фотоприемником, размыкая тем самым цепь оптопары. При этом при окончании материала печати цепь оптопары перейдет в замкнутое состояние.

Изменение состояние оптопары предлагается фиксировать микроконтроллером путем подключения фотоприемника оптопары к входам микроконтроллера.

Оптопара прикрепляется к устройству на дополнительную панель (см. «2» на рис. 1)

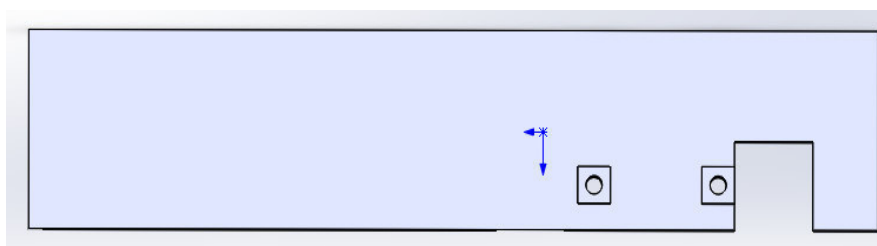


Рис. 2. Дополнительная панель для оптопары

Оптопара подключена тремя проводами к микроконтроллеру Arduino Mega 2560 [4].

Сигнальный провод подключается к второму пину Arduino, отвечающему за внешние прерывание.

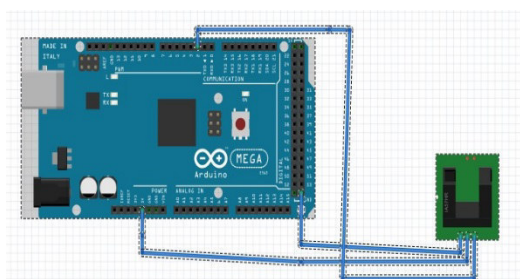


Рис. 3. Подключение оптопары к Arduino Mega 2560

На рис. 4 представлен текст программы, загруженной на Arduino. Основной его функцией является мониторинг состояния COM-порта компьютера.

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(3, INPUT);
}
void loop() {
    int buttonState = digitalRead(3);
    Serial.println(buttonState);
    delay(100);
}
```

Рис. 4. Текст управляющей программы, загруженной на Arduino

Для оповещения пользователя об изменении состоянии оптопары был написан код в среде VisualStudio [5] на языке программирования С#. Ниже представлен фрагмент программы, вызывающей звуковое оповещение при срабатывании прерывания:

```
private void serialPort_DataReceived(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    textBox1.Invoke(
        (ThreadStart)delegate ()
        {
            textBox1.Text = serialPort.ReadExisting();
            if (textBox1.Text == "1")
            {
                SoundPlayer s1 = new
                SoundPlayer("C:/Users/ww/Desktop/FilamentSensor/V1.0/FilamentSensor1.0/FilamentSensor1.0/sounds/alarm.
                wav");
                s1.Play();
            }
        });
};
```

Для решения проблемы обнаружения момента заклинивания нити можно использовать отдельный блок с механизмом подачи печатающего материала таким образом, чтобы нить, зажимаясь между подающим роликом (слева) и прижимным, своим движением приводила к движению подающий ролик, который в свою очередь вызывает движение связанной с ним большой шестерни.

Движение большой шестерни, изменяя состояние оптопары, позволит, анализируя изменения скорости подачи печатающего материала, регистрировать заклинивание подачи печатающего материала и момент окончания печати.

Заключение. В ходе настоящей работы был разработан макет устройства контроля окончания печатающего материала 3D принтера и произведено предварительное тестирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Что такое технология FDM? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rp-machines.ru/technology/fdm/>. – 06.03.2016.
2. Solidworks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://solidworks.com>. – 06.03.2016.
3. Оптрон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Оптрон>. – 06.03.2016.
4. Arduino Mega 2560 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardMega2560>. – 06.03.2016.
5. Visualstudio [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://visualstudio>. – 06.03.2016.

**NANOSIZED EMITTERS ON THE BASIS OF GRAPHENE ON SILICON CARBIDE WITH
LOCAL CHANGE EMITTING SURFACE**

I.L. Jityaev¹, O.A. Ageev¹, A.M. Svetlichnyi¹, O.B. Spiridonov²

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., Ph. D. A.M. Svetlichnyi

¹Institute of Nanotechnologies, Electronics, and Electronic Equipment Engineering, Southern Federal
University,

Russia, Taganrog, Shevchenko Street, 2, 347922

²Scientific and Design Bureau of Modelling and Controlling Systems, Southern Federal University,

Russia, Taganrog, Petrovskaya Street, 81, 347928

E-mail: jityaev.igor@gmail.com

**НАНОРАЗМЕРНЫЕ ЭМИТТЕРЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА НА КАРБИДЕ КРЕМНИЯ С
ЛОКАЛЬНО ИЗМЕНЕННОЙ ЭМИТИРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

И.Л. Житяев¹, О.А. Агеев¹, А.М. Светличный¹, О.Б. Спиридонов²

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.М. Светличный

¹Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения, Южный федеральный университет,

Россия, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, 347922

²Научно-конструкторское бюро моделирующих и управляющих систем, Южный федеральный
университет,

Россия, г. Таганрог, ул. Петровская, 81, 347928

E-mail: jityaev.igor@gmail.com

***Аннотация.** Было проведено 3D моделирование распределения электрического поля в наноразмерной автоэмиссионной структуре. Рассмотрен автоэмиссионный катод в форме острия с нанометровыми значениями радиуса закругления вершины и межэлектродного расстояния. Показано возникновение неоднородности электрического поля при изменении формы эмиттера. Исследуемая модель учитывает изменение межэлектродного расстояния. Обнаружена неоднородность напряженности электрического поля в центре и на краю эмитирующей поверхности.*

Modern process make it possible to form a field emission structures with nanoscale interelectrode gap [1]. In papers [2-4] was shown, that reduction of the interelectrode distance less than 10 nm promotes emission at voltages up to 10 V and the achievement of the field strength more than 10^9 V / m. Surface of the cathode can change its shape due to local overheating, ion bombardment of the cathode during the electron emission. The original form changes of the cathode can lead to instability of the field emission [5, 6].

The advance of field emission application of graphene films formed by high-temperature decomposition of SiC is caused by a low work function, high thermal conductivity, stable electrical characteristics, unique geometrical dimensions, a high adhesion to the SiC [4, 7-9].

The object of studing is analysis the impact of form changes of nanosized field emission cathode on the distribution of the electric field strength in the interelectrode gap by using simulation method. The paper considers the model form changes of emitting surface, which in one's turn leads to an increase of interelectrode

distance. Software “Comsol Multiphysics” was applied to 3D simulation of electric field strength distribution in the emission structure. The simulation was performed at the following values of the boundary conditions: cathode boundary - $U_c = \text{const}$; anode boundary - $U_a = \text{const}$; boundary of emission cell - $U_e = 0$. Simulation parameters are shown in Table. The shape of the emitting surface was changed from the ideal spherical to a truncated sphere with a radius section - 10–30 nm. Simulation results are shown in Fig.

Table

Simulation parameters

	Parameter	Symbol	Value
1	Rounding-off radius of the top	r	50 nm
2	Angle of lateral surface relative to the vertical lateral surface	a	10°
3	Potential difference	U	10 V
4	Interelectrode distance	d	10–20 nm
5	Height of the cathode	h	990–1000 nm

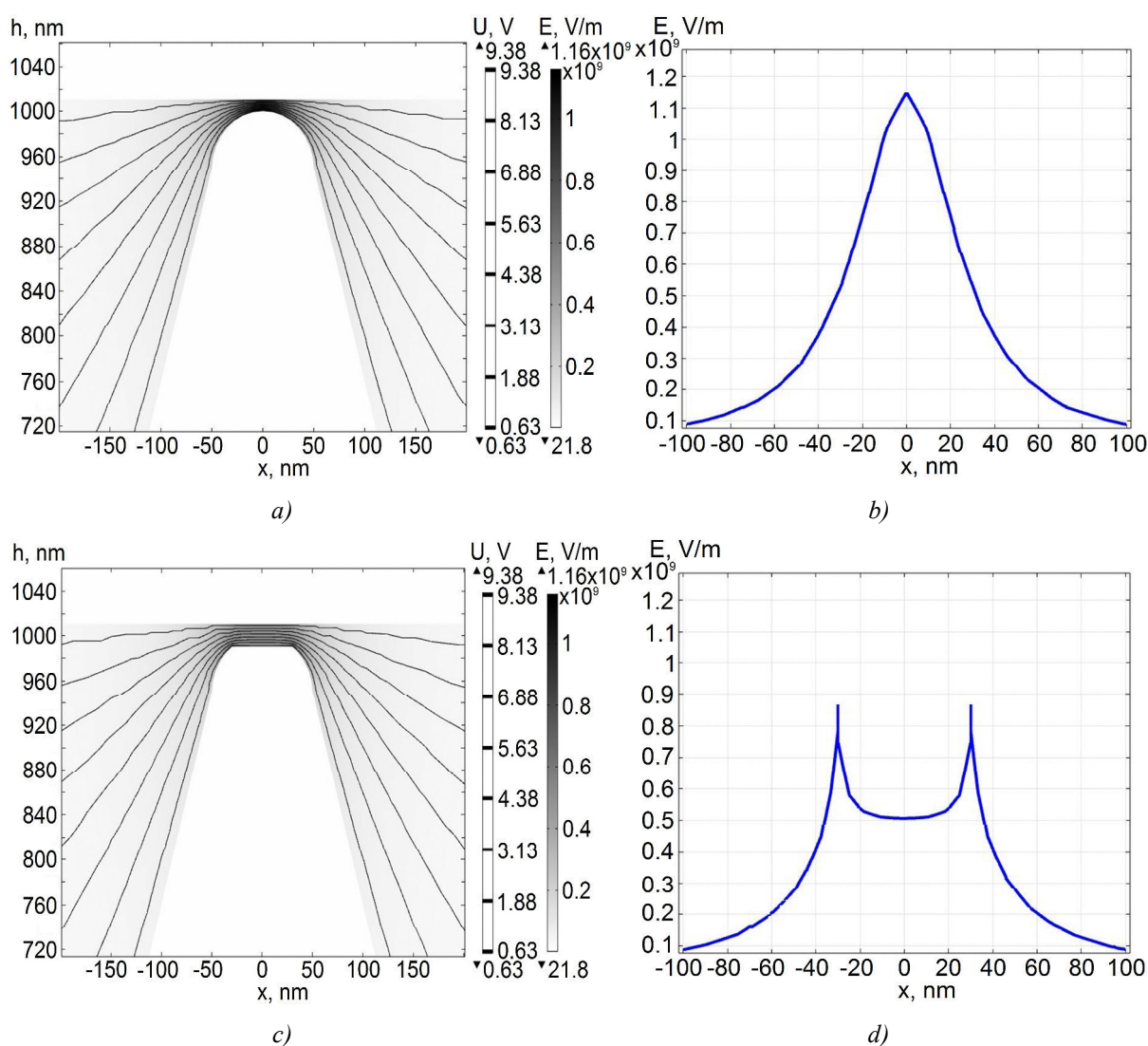


Fig. Electric field strength distribution:

a, b – cathode with rounding-off radius of the top 50 nm and interelectrode distance 10 nm;
c, d – cathode with radius section of top – 30 nm and interelectrode distance 20 nm.

The distribution of the electric field was obtained by the simulation results. It was found that the change of surface shape even at 1 nm leads to inhomogeneous distribution of the electric field. It may be noted that the emitting surface changes and the distance between electrodes lead to the appearance of two peaks on the graph of the electric field distribution. In this case, the maximum value of the electric field strength decreases with increasing distance between electrodes. The electrode gap increasing leads to difference increasing of the values at the edge and center of the emitting surface. The results may explain the appearance of a "ring effect" on the edges of the cathode at high current densities.

This work was supported by The Ministry of Education and Science of Russian Federation, the State Task in the Sphere of Scientific Activities (project no.16.1154.2014/K). The equipment of the Sharing Center and REC "Nanotechnologies" of Southern Federal University was used for this study.

REFERENCES

1. Svetlichnyi, A. M., Kolomiitsev, A. S., Jityaev, I. L., Spiridonov, O. B. (2015). Fabrication field emission nanoelectronics devices based on graphene on silicon carbide using focused ion beam. *Izvestiya SFedU. Engineering sciences*, no. 09, pp. 14–23. Retrieved February 29, 2016, from <http://izv-ti.tti.sfedu.ru/?p=21633&lang=en/>
2. Svetlichnyi, A. M., Ageev, O. A., Volkov, E. Yu., Jityaev, I. L., Dem'yanenko, M. V. (2015). Modelling of the Influence of a Pointed Field Emission Cathode Design from the Silicon Carbide with Graphene Film on the Electric Field Strength. *Applied Mechanics and Materials*, vol. 752–753, pp. 163–167. Retrieved February 29, 2016, from <http://www.scientific.net/AMM.752-753.163/>
3. Volkov, E., Jityaev, I., Kolomiitsev, A. (2015). Design features of matrix nanoscale pointed graphene/SiC field emission cathodes. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 90, pp. 012031–1–5. Retrieved February 29, 2016, from <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/93/1/012031/>
4. Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonosov, S. V., Grigorieva, I. V., Firsov, A. A. (2004). Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science*, vol. 306, pp. 666–669. Retrieved February 29, 2016, from <http://science.sciencemag.org/content/306/5696/666/>
5. Dyke, W. P., Trolan, J. K., Martin, E. E., Barbour, J. P. (1953). The field emission initiated vacuum arc. 1, Experiments on arc initiation. *Physical Review*, vol. 91, no 5, pp. 1043–1054. Retrieved February 29, 2016, from <http://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.91.1043/>
6. Batrakov, A. V., Proskurovskii, D. I. (1999). Nature of the "Ring effect" in intense field emission. *Technical physics letters*, vol. 25, no 6, pp. 444–447. Retrieved February 29, 2016, from <http://link.springer.com/article/10.1134%2F1.1262532/>
7. Konakova, R. V., Okhrimenko, O. B., Svetlichnyi, A. M., Ageev, O. A., Volkov, E. Yu., Kolomiitsev, A. S., Jityaev, I. L., Spiridonov, O. B. (2015). Characterization of field-emission cathodes based on graphene films on SiC. *Semiconductors*, vol. 49, iss. 9, pp. 1242–1245. Retrieved February 29, 2016, from <http://link.springer.com/article/10.1134%2FS1063782615090146/>

**ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА КАК СПОСОБ
ПОВЫШЕНИЯ ЕГО РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ**

К.В. Заичко

Научный руководитель: ассистент, А.О. Семкин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: zaichkov@gmail.com

**OPTICAL FIBER'S CHEMICAL COMPOSITION CHANGING AS A METHOD OF
INCREASING ITS RADIATION RESISTANCE**

K.V. Zaichko

Scientific Supervisor: assistant, A.O. Semkin

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

E-mail: zaichkov@gmail.com

***Abstract.** In this paper, we consider the influence of ionizing radiation on the quality of transmission over optical fiber media. A review of the currently known fibers manufacturing technology determined the optimal chemical composition of the fiber in terms of its most high radiation resistance.*

Применение оптического волокна (ОВ) в волоконно-оптических системах передачи информации (ВОСПИ) и устройствах, работающих в условиях повышенной радиации, вызвали массу исследований радиационно-оптических явлений в кварцевых ОВ, поскольку при воздействии ионизирующего излучения происходит увеличение оптических потерь вплоть до утраты прозрачности ОВ.

Целью данной работы является исследование оптимального химического состава ОВ, обеспечивающего его повышенную радиационную стойкость, для применения в устройствах и системах, работающих в космическом пространстве.

В настоящее время наиболее распространенными являются одномодовые волоконные световоды с сердцевинной и оболочкой из легированного или нелегированного кварцевого стекла. Диапазон рабочих длин волн таких световодов составляет 0,78...1,9 мкм. Заготовки для них изготавливают по методу химического осаждения кварцевого стекла из смеси исходных газообразных реагентов. Разработаны и хорошо известны различные технологические процессы, реализующие этот метод: MCVD, FCVD, VAD, OVD, PCVD и SPCVD [1, 2]. После создания заготовок световоды изготавливают из них известным методом вытягивания. В процессе вытягивания наносят защитное покрытие. В результате ОВ состоит из сердцевины, оболочки на основе кварцевого стекла и защитного покрытия.

Основным фактором в снижении качества передачи информации по ОВ в условиях космического пространства являются радиационные эффекты за счет воздействия на элементы ОВ протонов космических лучей и электронов, входящих в состав корпускулярного излучения Солнца и захваченных магнитным полем Земли [3]. При воздействии данных излучений в волоконном световоде возникает радиационно-наведенное поглощение (РНП) света. Эффект РНП объясняется тем, что в материале

световода образуются радиационные центры окраски (РЦО), поглощающие распространяющийся по ОВ свет.

В настоящее время известны три механизма РНП, влияющие на распространение светового сигнала в ближнем ИК-диапазоне, подавление которых и означало бы повышение радиационной стойкости волокна:

- первый механизм - это РНП, вызванное РЦО, связанными с атомами хлора, входящими в сетку номинально нелегированного кварцевого стекла при синтезе заготовки из смеси газообразных молекулярного кислорода O_2 и тетрахлорида кремния $SiCl_4$. Это РНП растёт с ростом содержания хлора в стекле световода. При этом показано, что потери в УФ-диапазоне на порядок выше, чем в ближней ИК-области, где находится диапазон «окон прозрачности» кварцевых ОВ [4].

- второй механизм - это РНП, не связанное с атомами хлора. Оно тоже имеет максимум в видимом или УФ-диапазоне спектра и монотонно спадает с увеличением длины волны. При больших дозах ионизирующего излучения это РНП зависит от дозы немонотонно: оно резко возрастает в начале облучения, а затем уменьшается с ростом дозы [5]. Природа РЦО, ответственных за это РНП, доподлинно неизвестна и до сих пор теоретически не объяснена.

- третий механизм - это РНП, достигающее максимума на длине волны около 1,9 мкм и монотонно снижающееся с уменьшением длины волны [6]. Природа РЦО, ответственных за это РНП, также доподлинно неизвестна.

Повышение радиационной стойкости световода и уменьшение РНП можно достичь путём изменения химического состава легирующих примесей [7–10].

В [7] показано, что легирование сердцевины ОВ оксидом германия приводит к уменьшению его радиационной устойчивости. Однако высокая концентрация германия позволила получить световод методом внешнего аксиального осаждения (VAD-метод) [8]. Отличительной особенностью световодов, полученных VAD-методом является отсутствие провала в профиле показателя преломления, характерного для MCVD процесса. В [9] описан метод повышения радиационной стойкости волоконного световода на основе кварцевого стекла с сердцевиной из нелегированного кварцевого стекла за счёт его насыщения молекулярным водородом и облучения гамма-излучением. В процессе гамма-излучения атомы водорода подавляют возникновение РЦО. После облучения сетка стекла не содержит предшественников РЦО, ответственных за первый и второй механизмы РНП. В результате, волоконный световод приобретает свойства повышенной радиационной устойчивости.

В [10] описана технология изготовления кварцевых световодов, легированных фтором, позволяющая снизить содержание атомов хлора в стекле (атомы более химически активного фтора замещают атомы хлора). Из-за малого количества хлора в сетке стекла сердцевины уменьшается влияние первого механизма РНП. Кроме того, в световоде из-за наличия фтора в стекле подавлен третий механизм РНП. По результатам исследования волоконный световод обладает повышенной радиационной стойкостью.

Таким образом, повышения радиационной устойчивости волоконного световода (подавления всех трех механизмов РНП) предположительно можно достичь путём легирования кварцевого стекла фтором [10] и методом воздействия гамма-излучения [9].

Применение таких волоконных световодов в условиях повышенного уровня ионизирующего излучения, например, в космическом пространстве, представляется наиболее целесообразным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nagel S.R, MacChesney J.B., Walker K.L. An overview of the modified chemical vapor deposition (MCVD) process and performance // IEEE Journal of Quantum Electronics. 1982. – V.18. – No. 4. – P. 459–476.
2. Dianov E.M., Golant K.M., Kurkov A.S., Khrapko R.R., Tomashuk A.L. Low-hydrogen silicon oxynitride optical fibres prepared by SPCVD // Journal of Lightwave Technology. – 1995. – V. 13. – No. 7. – P. 1471–1474.
3. Перминов С.В. Анализ влияния ионизирующих излучений космического пространства на работоспособность и срок службы элементов волоконно-оптических систем передачи данных // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2003. – Т. 8. – № 9. – С. 40–44.
4. Girard S, Marcandella C, Alessi A, Boukenter A, Ouerdane Y, Richard N, Paillet P, Gaillardin M, Raine M. Transient radiation responses of optical Fibers: influence of MCVD process parameters // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2012. – V. 59. – No. 6. – P. 2894–2901.
5. Tomashuk A.L., Golant K.M. Radiation-resistant and radiation-sensitive silica optical fibers // Proceeding of SPIE. – 2000. – V. 4083. – P. 188–201.
6. Reginer E., Flammer I., Girard S., Gooijer F., Actten F., Kuyt G. Low-dose radiation-induced attenuation at infrared wavelengths for P-doped, Ge-doped and pure silica-core optical fibers // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2007. – V. 54. – No. 4. – P. 1115–1119.
7. Иванов Г.А., Первадчук В.П. Технология производства и свойства кварцевых оптических волокон: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – С. 127–135.
8. Onishi M., Kashiwada T., Ishiguro Y., Koyano Y., Nishimira N., Kanamori H. High-performance dispersion-compensating fibers // Fiber and Integrated Optics. – 1997. – V. 16. – P. 277–285.
9. Пат. 744067 США. МПК G02B 6/00 B2. Radiation resistant single-mode optical fiber and method of manufacturing thereof / K. Aikawa, K. Izoe, N. Shamoto, M. Kudoh, T. Tsumanuma. Заявлено 12.04.2007; Оpubл. 21.10.2008, Appl. No. 11/734,695. – 10 p.
10. Пат. 5267343 США. МПК G02B 6/00, G02B 6/02, C03C 25/60, C03C 25/62. Enhanced radiation resistant fiber optics / P. Lyons, L. Looney. Заявлено 03.09.1992; Оpubл. 30.11.1993, Appl. No. 07/940,409. – 8 p.

**ПОЛУЧЕНИЕ ОСТРОСФОКУСИРОВАННЫХ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ В ДИАПАЗОНЕ
ДАВЛЕНИЙ 15–50 ПА**

А.А. Зенин, И.Ю. Бакеев, А.П. Андрейчик, А.С. Климов

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

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

E-mail: Zenin1988@gmail.com

**GENERATION OF NARROW-FOCUSED ELECTRON BEAM IN THE PRESSURE
RANGE 15–50 PA**

A.A. Zenin, I.Y. Bakeev, A.P. Andreichik, A.S. Klimov

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

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

E-mail: Zenin1988@gmail.com

***Abstract.** The report presents the results of research of the dissemination sharply focused electron beam in the pressure range 15–50 Pa. The gas pressure influence on the beam diameter for various beam currents is analyzed. Increase of gas pressure doesn't affect on electron beam diameter.*

Развитие современных технологий требует совершенствования существующих инструментов и методов обработки материалов и разработки новых. Электронно-лучевые технологии находят широкое применение во многих технологических процессах: сварке, размерной обработке, наплавке. Для повышения качества обработки требуются пучки электронов с высокой плотностью мощности и малым диаметром. Традиционно для получения электронных пучков используют источники с термокатодом, но для их функционирования требуется высокий вакуум – такие источники электронов достаточно критичны к остаточной атмосфере рабочего газа. Их альтернативой являются источники электронов с плазменным катодом [1, 2], которые ввиду отсутствия нагреваемых элементов менее критичны к остаточному газу. Переход в форвакуумную область давлений и применение так называемых форвакуумных плазменных источников электронов [2] расширяет возможности применения электронного пучка как инструмента для обработки диэлектриков без применения дополнительных средств компенсации заряда. В то же время задача получения субмиллиметровых пучков для обработки диэлектриков остается нерешенной. Целью настоящей работы является исследование параметров сфокусированного субмиллиметрового электронного пучка в диапазоне давлений 15–50 Па.

Для получения остросфокусированного субмиллиметрового пучка в диапазоне давлений 15–50 Па при работе на гелии использовался форвакуумный плазменный источник электронов [2], схема которого представлена на рисунке 1.

Форвакуумный плазменный источник электронов 1, генерирующий пучок электронов 2, устанавливался на вакуумной камере 3. Разрядная система электронного источника состояла из цилиндрического полого катода 4, анода 5, эмиссионное окно в котором перекрыто перфорированным

електродом 6, і прискорюючого електрода (екстрактора) 7. При подачі напруги від джерела живлення розряду U_d між катодом і анодом запалювався тлеючий розряд, і в порожньому катоді 4 утворювалася плазма. При прикладанні прискорюючої напруги U_a між анодом 5 і екстрактором 7 з поверхні плазми відбувалася емісія електронів, їх прискорення до величини прикладеної прискорюючої напруги і подальша фокусування і відхилення, для яких використовувалися системи фокусування 8 і відхилення 9. Для стабілізації плазменної межі і запобігання проникнення плазми з області розряду в прискорюючий проміжок (ефект «вивалювання» плазми) [2], вихідне отвір в аноді перекривалося перфорованим електродом 6 з тантала, який має одне отвір діаметром 0,75 мм по центру і 12 отворів діаметром 0,6 мм по периметру перфорованого електрода. Відстань від системи відхилення 9 до вимірювального зонда 10 становила 20 см.

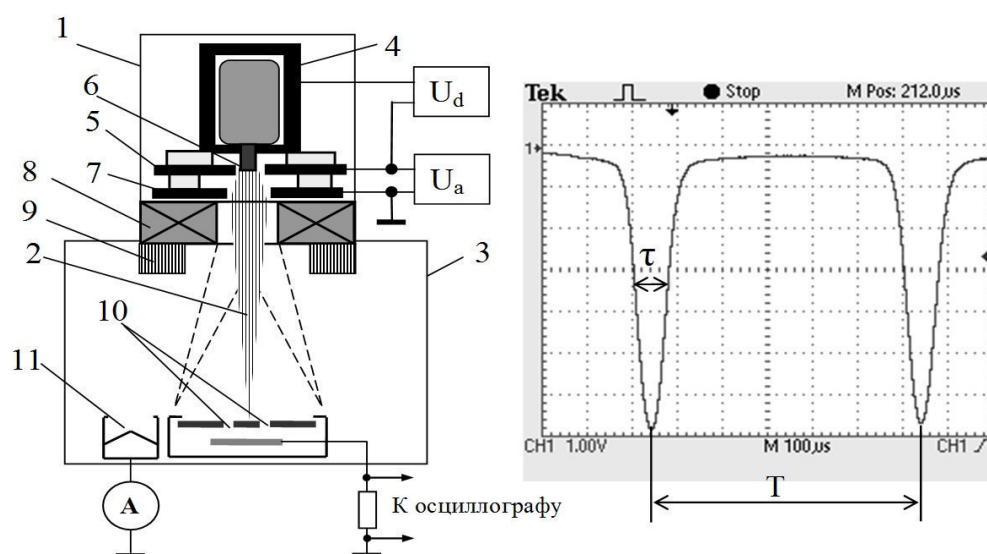


Рис. 1. Схема експериментальної установки і осцилограма знімаемого сигналу: 1 – електронний пучок; 2 – форвакуумний плазменний джерело електронів; 3 – вакуумна камера; 4 – порожній катод; 5 – анод; 6 – перфорований електрод; 7 – прискорюючий електрод (екстрактор); 8 – система фокусування; 9 – система відхилення; 10 – вимірювальний зонд; 11 – циліндр Фарадея

Вимірювання діаметра пучка проводилося методом «розвертки»: при подачі на відхиляючу систему змінного сигналу відбувалося відхилення пучка електронів по прямій лінії. При цьому він поочередно пересікав щелі зонда, створюючи струм колектора, фіксуєму токовим приладом. Вимірювання струму пучка проводилося при його відхиленні на циліндр Фарадея 11. Робочим газом у всіх експериментах був гелій.

Залежність діаметра електронного пучка від тиску в вакуумній камері для різних струмів пучка приведена на рис. 2. Слід звернути увагу на той факт, що при збільшенні робочого тиску діаметр пучка змінюється слабо. При струмах пучка 5–10 мА спостерігається його невеликий ріст, однак збільшення струму пучка до 15 мА призводить до зменшення діаметра пучка у всьому досліджуваному діапазоні тисків.

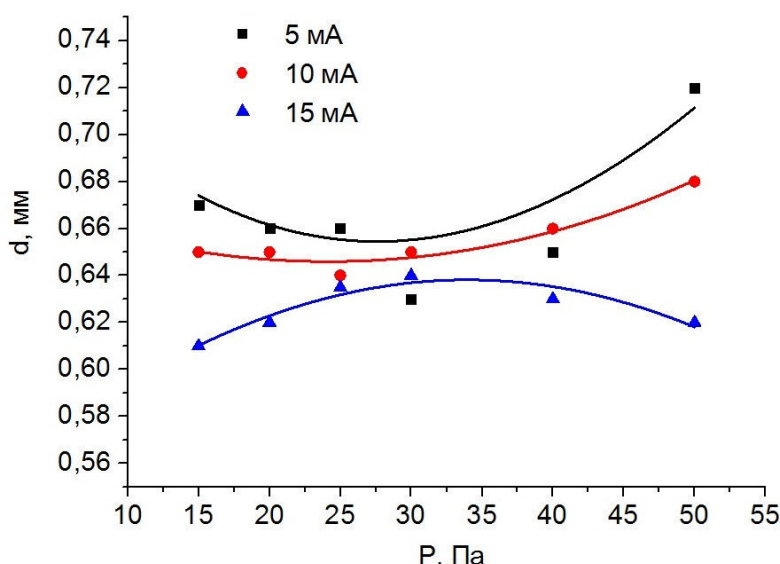


Рис. 2. Зависимость диаметра пучка от давления для различных токов в пучке
(ускоряющее напряжение 18 кВ)

Вероятно, данный эффект обусловлен искажением электрического поля в ускоряющем промежутке, вызванным большим проникновением пучковой плазмы в него при повышении тока пучка (концентрации пучковой плазмы). Также причиной уменьшения диаметра пучка по мере увеличения тока может быть наличие собственного магнитного поля пучка. Как показано в [3], при плотности тока электронного пучка порядка 10 А/см^2 и радиусе 10 см при его распространении на расстояние 20 см под действием собственного магнитного поля радиус пучка уменьшается до 3 см, а плотность тока увеличивается в 6–8 раз. В представленных результатах плотность тока достигает значения $1,2 \text{ А/см}^2$, при этом плотность мощности достигает $2,1 \cdot 10^4 \text{ Вт/см}^2$.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в диапазоне давлений 15–50 Па при работе на гелии возможно получение остросфокусированных субмиллиметровых электронных пучков с использованием плазменного источника электронов, при этом увеличение давления не приводит к значительному увеличению диаметра пучка.

Работа поддержана грантом РФФИ 16-38-60032 мол_а_дк.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корнилов С.Ю., Ремпе Н.Г. Формирование и фокусировка электронных пучков в электронно-оптической системе с плазменным эмиттером в магнитном поле // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82. – Вып. 2. – С. 79–84.
2. Бурдовицин В.А., Гореев А.К., Климов А.С., Зенин А.А., Окс Е.М. Расширение рабочего диапазона форвакуумных плазменных источников электронов в область более высоких давлений // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82. – Вып. 8. – С. 62–66.
3. Девятков В.Н., Коваль Н.Н., Щанин П.М. Генерация и транспортировка сильноточных низкоэнергетических электронных пучков в системе с газонаполненным диодом // Журнал технической физики. – 1998. – Т. 68. – Вып. 1. – С. 44–48.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ УСКОРЯЮЩЕГО ПРОМЕЖУТКА ФОРВАКУУМНОГО
ИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ**

А.В. Казаков, А.В. Медовник

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: andrykazakov@gmail.com

**ELECTRIC STRENGTH OF THE ACCELERATING GAP OF THE FORE-VACUUM
PULSED PLASMA ELECTRON SOURCE**

A.V. Kazakov, A.V. Medovnik

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

E-mail: andrykazakov@gmail.com

Abstract. *The experimental research of the accelerating gap electric strength of the fore-vacuum pulsed plasma electron source based on the arc discharge is presented. It is shown that gas pressure affects on the electric strength of the accelerating gap. The increase of gas pressure leads to a decrease of maximum beam current.*

Введение. Плазменные источники, генерирующие электронные пучки в форвакуумном диапазоне давлений (3–100 Па), позволяют осуществлять электронно-лучевую обработку различных диэлектрических материалов без использования дополнительного оборудования, обеспечивающего стекание заряда с обрабатываемой электрически-непроводящей поверхности [1, 2]. В тоже время предельные параметры форвакуумных плазменных источников сильно зависят от давления рабочего газа, что обусловлено ионизационными процессами, которые в форвакууме протекают гораздо интенсивнее, чем в традиционном для электронно-лучевых источников диапазоне давлений ($p < 10^{-1}$ Па). Основное ограничение предельных параметров форвакуумных источников на основе дугового разряда связано с электрической прочностью ускоряющего промежутка источника. В форвакуумном диапазоне давлений электрическая прочность ускоряющего промежутка достаточно подробно исследована для плазменного источника непрерывного электронного пучка [3], а также для импульсного источника, генерирующего электронный пучок относительно небольшого радиуса (менее 10 мм) с током пучка не более 10 А [4]. В тоже время для сильноточных импульсных источников, генерирующих широкоапертурные электронные пучки в форвакуумном диапазоне давлений, данный вопрос изучен не достаточно. В связи с этим, цель настоящей работы заключалась в исследовании электрической прочности ускоряющего промежутка форвакуумного плазменного источника при генерации импульсного сильноточного широкоапертурного электронного пучка.

Экспериментальная установка и методика эксперимента. В исследованиях использовался широкоапертурный форвакуумный импульсный плазменный источник электронов на основе дугового разряда, детальное описание которого представлено в [5]. Схема экспериментальной установки представлена на Рис. 1. Диаметр эмиссионного окна, перекрытого мелкоструктурной сеткой 6 из нержавеющей стали, составлял 90 мм. Форвакуумный плазменный источник электронов размещался на

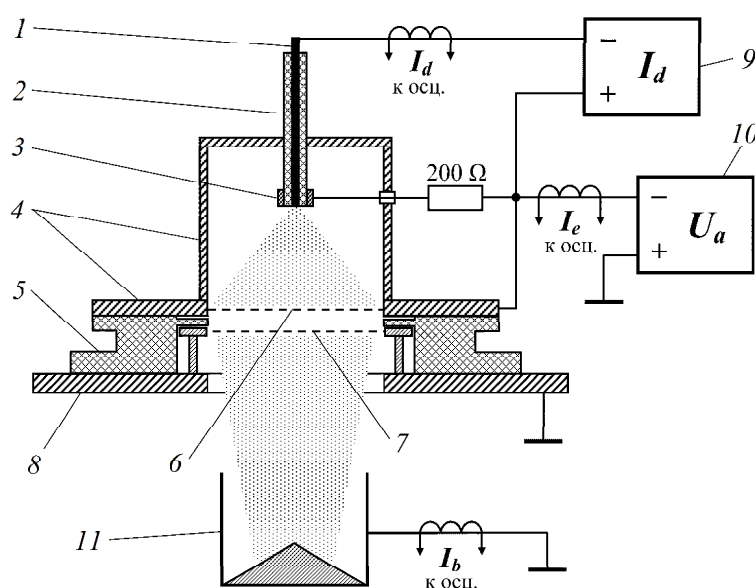


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – катод; 2 – керамический изолятор; 3 – поджигающий электрод; 4 – анод; 5 – высоковольтный изолятор; 6 – эмитсионный электрод (анодная сетка); 7 – ускоряющий электрод (экстрактор); 8 – фланец вакуумной камеры; 9 – импульсный блок питания разряда; 10 – высоковольтный блок постоянного ускоряющего напряжения; 11 – цилиндр Фарадея

фланце 8 вакуумной камеры, которая откачивалась только одним механическим насосом. Рабочее давление p регулировалось непосредственной подачей в вакуумную камеру рабочего газа, в качестве которого использовались воздух, гелий (He) и аргон (Ar).

Питание источника осуществлялось импульсным блоком питания разряда 9 и высоковольтным блоком постоянного ускоряющего напряжения 10. Ускоряющее напряжение во всех экспериментах составляло $U_a = 10$ кВ, а длительность разрядного импульса – $\tau_d = 300$ мкс. Частота следования импульсов, составлявшая 0,1–

0,5 Гц, задавалась таким образом, что бы после пробоя ускоряющего промежутка напряжение U_a успевало полностью восстановиться до следующего разрядного импульса. Регистрация генерации пучка и измерение величины тока I_b пучка осуществлялось с помощью цилиндра Фарадея 11. В качестве предельного (максимального) тока I_b пучка принимался ток, при котором количество пробоев ускоряющего промежутка не превышало 10 % от общего числа импульсов.

Результаты экспериментов и их анализ. Типичные осциллограммы токов I_d разряда, I_e эмиссии и I_b пучка представлены на Рис. 2. Поскольку в течение импульса амплитуда I_d разрядного тока убывает, что обусловлено особенностями источника питания, амплитуды тока эмиссии и, соответственно, тока пучка также снижаются, поэтому за ток пучка I_b бралось значение тока, усредненное по импульсу. На Рис. 3 представлена зависимость максимального тока I_{bm} пучка от давления p при использовании различных рабочих газов.

При используемой конфигурации электродов максимальная электрическая прочность ускоряющего промежутка ($I_{bm} = 172$ А) наблюдается при полностью закрытом газовом натекатель ($p = 3$ Па), т.е. без напуска рабочего газа в вакуумную камеру. По мере роста давления p рабочего газа, как и в работах [3, 4], при генерации импульсного широкоапертурного электронного пучка наблюдается снижение электрической прочности ускоряющего промежутка, что проявляется в уменьшении максимального тока I_{bm} пучка. В тоже время для исследуемого импульсного широкоапертурного плазменного источника абсолютные значения токов I_e эмиссии и I_b пучка на 2–3 порядка больше, чем для источников непрерывного электронного пучка, и на порядок больше чем для форвакуумного импульсного источника, представленного в [4]. Вид рабочего газа так же оказывает влияние на электрическую прочность ускоряющего промежутка, так использование гелия (He) обеспечивает стабильную генерацию

электронного пучка с током $I_{bm} > 60$ А при давлениях p до 30 Па. Напуск в вакуумную камеру аргона (Ar) приводит к резкому снижению электрической прочности, в результате чего максимальное давление p , при котором еще наблюдается стабильная генерация электронного пучка, не превышает 7 Па. При использовании в качестве рабочего газа воздуха стабильная генерация пучка наблюдается до давления $p = 15$ Па, однако при этом ток I_{bm} пучка не превышает 20 А.

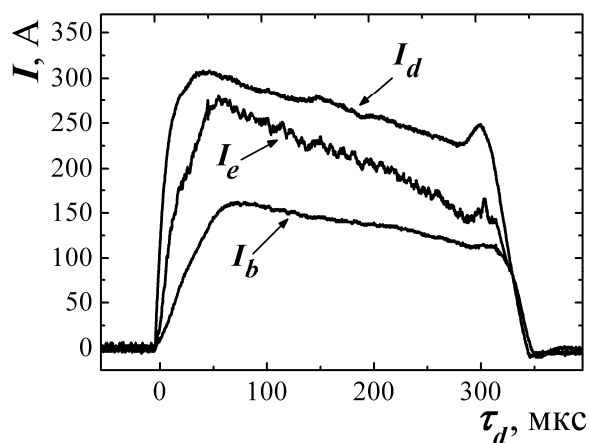


Рис. 2. Типичные осциллограммы токов I_d разряда, I_e эмиссии и I_b пучка

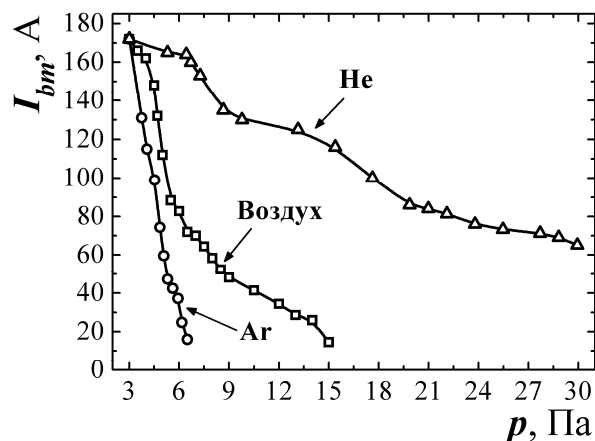


Рис. 3. Зависимость среднего тока I_{bm} пучка от давления p рабочего газа (б)

Наблюдаемое влияние давления p и вида рабочего газа на электрическую прочность ускоряющего промежутка обусловлено ионизационными процессами в области ускорения и транспортировки электронного пучка. В частности влияние вида рабочего газа может быть обусловлено различием потенциалов ионизации, так из используемых газов гелий имеет наибольший (первый) потенциал ионизации (24,58 эВ).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-38-00224 мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Burdovitsin V.A., Klimov A.S., Medovnik A.V., Oks E.M. Electron beam treatment of non-conducting materials by a fore-pump-pressure plasma-cathode electron beam source // Plasma Sources Science and Technology. – 2010. – V. 19. – No. 5. – P. 055003.
2. Бурдовицин В.А., Гулькина В.С., Медовник А.В., Окс Е.М. Компенсация заряда изолированной мишени при облучении импульсным электронным пучком в форвакуумной области давлений // Журнал технической физики. – 2013. – Т. 83. – № 12. – С. 134–136.
3. Бурдовицин В.А., Гореев А.К., Климов А.С., Зенин А.А., Окс Е.М. Расширение рабочего диапазона форвакуумных плазменных источников электронов в область более высоких давлений // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82. – Вып. 8. – С. 62–66.
4. Медовник А.В., Бурдовицин В.А., Окс Е.М. Формирование импульсного электронного пучка в системе с плазменным катодом в форвакуумной области давлений // Известия ВУЗов. Физика. – 2010. – Т. 53. – № 2. – С. 27–32.
5. Казаков А.В., Бурдовицин В.А., Медовник А.В., Окс Е.М. Форвакуумный импульсный плазменный источник электронов на основе дугового разряда // Приборы и техника эксперимента. – 2013. – № 6. – С. 50–53.

**ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЕ ИСПАРЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МИШЕНЕЙ В
ФОРВАКУУМНОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ**

А.С. Климов, А.А. Зенин, Ю.Г. Юшков

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

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

E-mail: klimov@main.tusur.ru

**ELECTRON BEAM EVAPORATION OF CERAMIC TARGETS AT FOREVACUUM
PRESSURES**

A.S. Klimov, A.A. Zenin, Yu.G. Yushkov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,

Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: klimov@main.tusur.ru

***Abstract.** The paper presents research results on electron beam evaporation of dielectric materials in the forevacuum pressure range. The research results demonstrate the efficiency of using an electron beam for evaporation of alumina ceramic at forevacuum pressures.*

В настоящее время все больший научный и практический интерес вызывает получение защитных покрытий, улучшающих эксплуатационные свойства деталей механизмов и устройств, подвергающихся интенсивному тепловому либо механическому воздействию. Существуют несколько способов напыления, как проводящих, так и диэлектрических материалов, такие как газотермическое напыление, вакуумно-дуговое нанесение покрытий, вакуумное напыление [1]. Однако большинство этих методов требуют либо громоздкого и дорогостоящего оборудования, либо оказываются малоэффективными, за счет относительно небольшой скорости роста покрытий. Одним из альтернативных способов получения покрытия является электронно-лучевое испарение с последующей конденсацией в вакууме металлов и неметаллов [2]. Процесс испарения, как правило, осуществляют при давлении 10^{-2} - 10^{-4} Па, что связано с использованием электронных пушек с термокатодом, критичным к величине давления и составу газовой атмосферы. При работе в таком диапазоне давлений необходимо принятие специальных мер по предотвращению зарядки облучаемой поверхности. Переход в область более высоких давлений 1-100 Па позволяет устранить проблему накопления заряда и эффективно воздействовать на диэлектрические материалы [3]. Цель настоящего исследования состояла в исследовании процесса электронно-лучевого испарения диэлектрических материалов в форвакуумной области давлений.

Техника и методика эксперимента

Эксперименты по испарению керамических мишеней проводились с использованием форвакуумного плазменного электронного источника. В диапазоне рабочих давлений 5-15 Па и ускоряющих напряжений 5-20 кВ источник обеспечивал генерацию непрерывного электронного пучка с током до 100 мА. Источник устанавливался на рабочую камеру, вакуум в которой создавался только одной ступени откачки, обеспечиваемой механическим форвакуумным насосом BocEdwards M80. В

качестве испаряемых мишеней использовались цилиндрические образцы алюмооксидной керамики марки ВК94-1. Скорость испарения керамики рассчитывалась путем измерения потери массы облучаемого образца за время облучения. Постоянство плотности тока, приходящегося на облучаемый образец при разных рабочих давлениях газа в области транспортировки электронного пучка обеспечивалось специально подобранными значениями тока фокусирующей катушки, позволяющими получать электронный пучок с фиксированным значением диаметра.

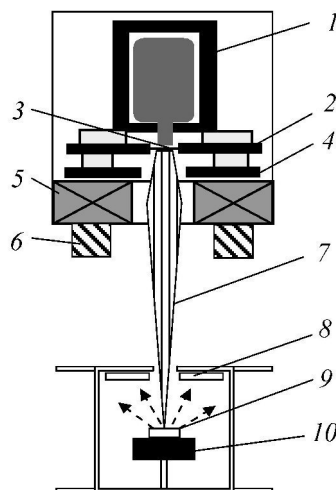


Рис. 1. Схема эксперимента по электронно-лучевому испарению. 1 – полый катод; 2 – анод; 3 – эмиссионный электрод (перфорированная пластина); 4 – ускоряющий электрод (экстрактор), 5 – фокусирующий соленоид; 6 – магнитная система отклонения; 7 – электронный пучок; 8 – стеклянные подложки; 9 – испаряемый образец; 10 – графитовый тигель.

Результаты эксперимента

Экспериментальные зависимости скорости уноса массы облучаемого материала от параметров электронного источника и давления в вакуумной камере представлены на рис. 2. Видно, что скорость испарения повышается с ростом удельной мощности пучка, что может быть связано как с повышением температуры в расплавленной при облучении пучком области, так и с ростом площади этой области. Предельная плотность мощности электронного пучка при испарении алюмооксидной керамики составила 1000 Вт/см².

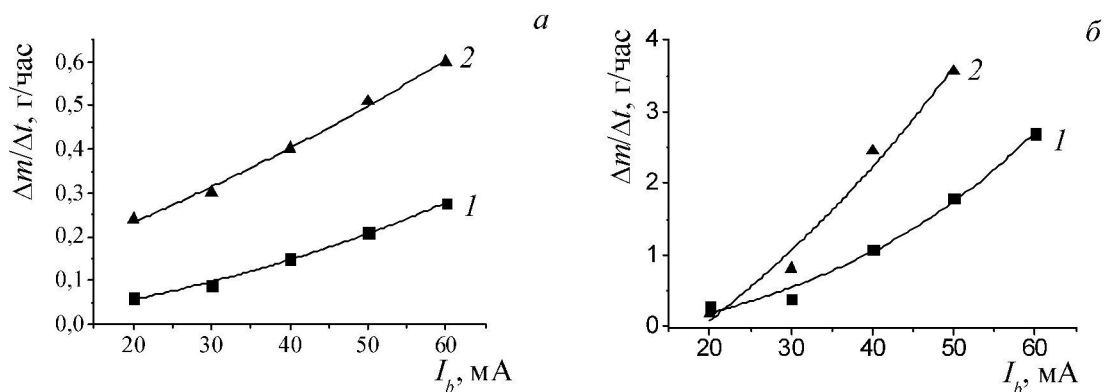


Рис. 2. Скорость уноса массы при электронно-лучевом испарении в зависимости от тока пучка. Ускоряющее напряжение: а – 8 кВ, б – 10 кВ, давление: 1 – 12 Па, 2 – 7 Па.

При превышении указанной плотности мощности происходило интенсивное испарение керамики с образованием брызг и осколков, осаждение которых на пленке приводило к нарушению ее однородности и растрескиванию, рис. 3 б.

Испарение при меньшей плотности мощности позволяло сформировать ровную пленку на всей поверхности подложки рис. 3 а.

Скорость роста пленок, рассчитанная по толщине напыленного слоя в зависимости от времени изменялась в пределах 0,03-0,1 мкм/мин и определялась главным образом давлением в вакуумной камере, эффективность процесса испарения при этом составила $2,7 \cdot 10^{-6}$ г/Дж, что является довольно хорошим показателем для метода электронно-лучевого испарения.

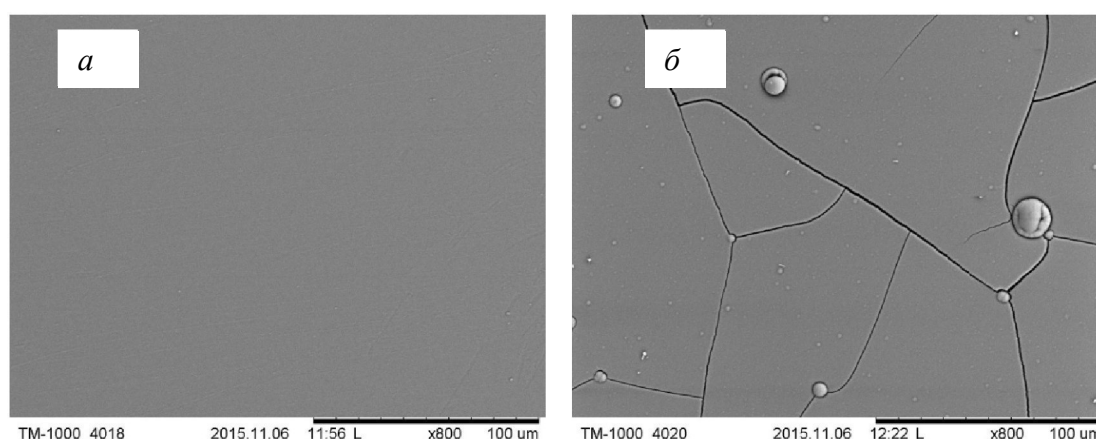


Рис. 3 Микрофотографии поверхности пленок, полученных при различных плотностях мощности: а – 800 Вт/см^2 , б – 1050 Вт/см^2 .

Результаты проведенных исследований показали эффективность использования электронного пучка для испарения алюмооксидной керамики в форвакуумном диапазоне давлений. Постепенный нагрев облучаемых образцов позволяет избежать термомеханических напряжений, приводящих к разрушению образца. При этом максимальная скорость испарения составляет 4 г/час при плотности мощности электронного пучка 1000 Вт/см^2 .

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ грант №15-38-20264

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mattox D.M. Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing: Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination Control. – Westwood, N.J.: Noyes Publications, 1998.
2. Harsha, K.S.S, Principles of Physical Vapor Deposition of Thin Films. – Elsevier.: Great Britain, 2006. – 400 p.
3. Бурдовицин В.А., Гулькина В.С., Медовник А.В., Окс Е.М. Компенсация заряда изолированной мишени при облучении импульсным электронным пучком в форвакуумной области давлений // ЖТФ. – 2013. – Т. 83. – Вып. 12. – С. 134-136.

**ОСОБЕННОСТИ СПЕКАНИЯ SiC КЕРАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ФОРВАКУУМНОГО ПЛАЗМЕННОГО ЭЛЕКТРОННОГО ИСТОЧНИКА**

А.С. Климов, А.А. Зенин, А.П. Андрейчик

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

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

E-mail: klimov@main.tusur.ru

**FEATURES OF SiC CERAMICS SINTERING BY THE FOREVACUUM PLASMA
ELECTRON SOURCE**

A.S. Klimov, A.A. Zenin, A.P. Andreichik

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

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

E-mail: klimov@main.tusur.ru

Abstract. *The article presents the results of the electron beam sintering of oxygen-free ceramic material based on SiC. Experiments have shown that the electron beam sintering of SiC precompacted sample creates conditions for the formation of a dense grain structure, however, requires finding a reliable method of preventing total removal of the oxide inclusions on the formation of large pores in their place.*

Керамика на основе карбида кремния SiC является одним из перспективных материалов для изготовления износостойких торцевых уплотнений, нагревательных элементов, элементов брони, а также корпусных элементов микро и nano электроники, что обусловлено сочетанием её высокой твёрдости, относительно малого удельного веса, низкого значения коэффициента термического расширения, высокой жаростойкости, электрической прочности и теплопроводности. Получение из этого материала высокоплотных объёмных поликристаллических изделий возможно лишь в достаточно сложных и низкопроизводительных процессах спекания под давлением (различные варианты горячего прессования).

Эффективной альтернативой горячему прессованию является спекание с участием жидкой фазы, для чего в порошок карбида кремния добавляют до 10 % оксидов алюминия и иттрия [1]. Однако жидкофазное спекание такого композита требует высоких температур (до 2050 °C) и длительной выдержки, что удорожает производство изделий из SiC. Повысить скорость и качество консолидации тугоплавких порошковых материалов позволяют высокоэнергетические методы внешнего воздействия, например метод электронно-лучевого спекания (ЭЛС). Ранее в работах [2–3] нами была показана возможность успешного электронно-лучевого спекания оксидных диэлектрических керамик на основе Al_2O_3 и ZrO_2 . Основная задача настоящего исследования состояла в установлении особенностей применения метода ЭЛС для высокотемпературной консолидации бескислородного керамического материала на основе SiC.

Эксперименты по электронно-лучевому спеканию проводились в установке, оснащённой форвакуумным плазменным электронным источником [4]. В качестве объекта спекания были взяты спрессованные образцы в форме таблеток диаметром до 14 мм и высотой до 3 мм из коммерческого

гранулированного порошка карбида кремния SIKADensitec-L (Saint-Gobain, Норвегия). Спекание образцов проводили одним пучком с вращением образца с частотой 1,5–2 оборота в секунду (рис. 1, а), и двумя пучками при размещении образца в неподвижном графитовом тигле (рис. 1, б). Спекание в графитовом тигле позволяло исключить из рассмотрения возможные радиационные эффекты. После откачки вакуумной камеры с размещённым в ней образцом до давления остаточной атмосферы 3 Па для ряда вариантов проводилась её промывка инертными газами (гелий, аргон) в течение 5 минут. Нагрев образца осуществлялся в течение 40–45 минут путём плавного увеличения мощности электронных пучков. Контроль температуры внешней поверхности спекаемого образца или тигля осуществлялся с помощью пирометра Marathon MM (Raytec, США).

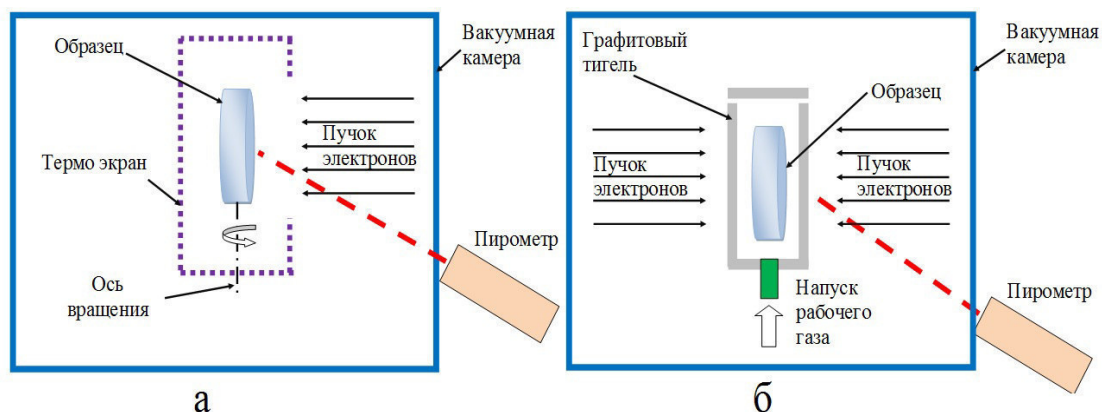


Рис. 1. Схема электронно-лучевого спекания: а – спекание одним пучком, б – спекание в графитовом тигле 2 пучками

Электронно-лучевым воздействием образец SiC нагревали до температуры 1700 °С и выдерживали в течение заданного времени. По окончании воздействия образец выдерживали в вакууме до полного остывания. Плотность образцов определяли измерением объёма и взвешиванием.

Результаты экспериментов по спеканию SiC керамики продемонстрировали ряд существенных отличий их поведения от керамических материалов на основе оксидных керамик в аналогичных условиях [2, 3]. Непосредственное воздействие электронного пучка на скомпактированный образец SiC приводит к заметной потере массы, сопровождающейся снижением плотности более чем на 15 %.

Наблюдение за составом газовой атмосферы (рис. 2) показывает, что при достижении температуры порядка ~1400 °С начинается рост содержания CO ($m/e=28$).

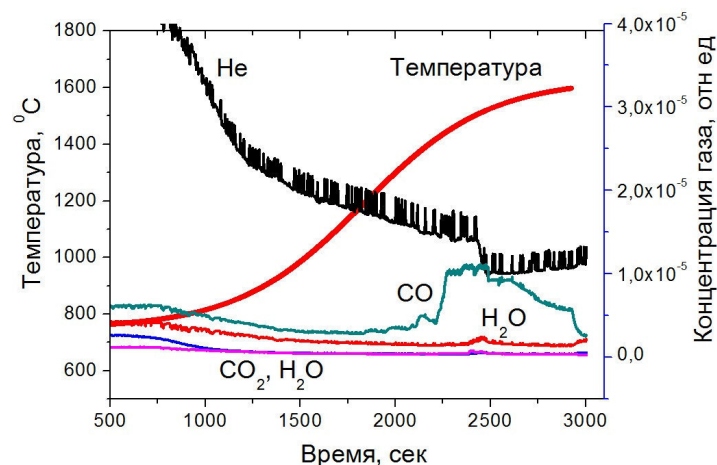


Рис. 2. Изменение состава газовой атмосферы во время спекания образца SiC с вращением

Отмеченный результат может быть истолкован как взаимодействие оксида алюминия, входящего в состав образцов с карбидом кремния с образованием газообразных и жидких продуктов (Al_2O_3 , SiO , CO). Для проверки указанного предположения были проведены эксперименты по спеканию SiC в графитовом тигле (рис. 1, б), при использовании в качестве рабочих газов кислорода, гелия и аргона, напуск которых производился непосредственно в графитовый тигель. Результаты проведенных экспериментов, представленные в табл. 1, в целом подтверждают гипотезу о взаимодействии окислов, т.к. плотность образцов, спеченных в инертной атмосфере, оказалась заметно большей, чем при спекании в кислороде. Тем не менее, во всех случаях плотность после спекания оказалось ниже исходной плотности образцов. Это обстоятельство может указывать на наличие дополнительного механизма потери массы.

Таблица 1

Результаты электронно-лучевого спекания в графитовом тигле

Рабочий газ	Плотность, гр/см ³	
	До спекания	После спекания
Гелий	1,92	1,78
Кислород	1,91	1,69
Аргон	1,91	1,84

Таким образом, выполненные эксперименты показали, что спекание электронным пучком предварительно скомпактированного образца SiC позволяет создать условия для формирования плотной зёрненной структуры, однако требует поиска надёжного способа предотвращения тотального удаления оксидных включений с образованием на их месте крупных пор.

Для сохранения максимально плотного состояния материала при консолидации его зёрен методом ЭЛС среди исследованных условий и режимов необходимо использовать аргон в качестве остаточной атмосферы в камере, образец защитить от прямого воздействия электронов его размещением в графитовом контейнере, с целью минимизации свободной поверхности следует предварительно компактировать образец до максимально достижимой плотности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ №16-38-60032.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lee S.K., Kim C.H. Effects of α -SiC vs. β -SiC starting powders on microstructure and fracture toughness of SiC sintered with Al_2O_3 - Y_2O_3 additives // Journal of the American Ceramic Society. – 1994. – V. 77. – No. 6. – P. 1655–1658.
2. Казаков А.В., Климов А.С., Зенин А.А. Электронно-лучевой синтез диоксидциркониевой керамики // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – № 2 (26). – Ч. 2. – С. 186–189.
3. Burdovitsin V., Dvilis E., Zenin A., Klimov A., Oks E., Sokolov V., Kachaev A. Electron beam sintering of zirconia ceramics // Advanced Materials Research. – 2014. – V. 872. – P. 150–156.
4. Бурдовицин В.А., Климов А.С., Медовник А.В., Окс Е.М., Юшков Ю.Г. Форвакуумные плазменные источники электронов. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2014. – 287 с.

**УСТРОЙСТВО ВЫВОДА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В АТМОСФЕРУ НА ОСНОВЕ
ПЛАЗМЕННОГО ЭМИТТЕРА**

О.А. Когай, А.Ю. Кузьминых, М.П. Моторин

Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.Ю. Корнилов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: fff08@bk.ru

**THE OUTPUT DEVICE THE ELECTRON BEAM IN THE ATMOSPHERE BASED PLASMA
EMITTER**

O.A. Kogai, A.Yu. Kuzminyh, M.P. Motorin

Scientific Supervisor: Associate prof., Ph.D. S.Yu. Kornilov

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

E-mail: fff08@bk.ru

Abstract. *The paper describes the design of the output device the electron beam in the atmosphere based plasma emitter. In the developed device the electron beam of energy up to 120 keV and current up to 200 mA, and in the accelerating gap with pressure of about 10⁻⁴ Torr is generated and extracted to a region of atmospheric pressure. It is shown that the two-stage gas-dynamic of the differential pumping system can be used to achieve the pressure drop required for operate the device. The developed device can be used in non-vacuum electron beam technologies such as producing composite nanopowders, surfacing coatings, welding and cutting metals.*

Традиционно устройства вывода электронного пучка в атмосферу имеют в своем составе термокатодную пушку и систему дифференциальной откачки с тремя [1] и более [2] ступенями, обеспечивающую давление вблизи катода не менее 10⁻⁵ Торр. Низкое давление вблизи разогретого до температур термоэлектронной эмиссии катода необходимо для его защиты от преждевременного окисления и деградации при воздействии ускоренных ионов.

Пушки с плазменным эмиттером из-за отсутствия накаливаемых электродов могут формировать электронный пучок при давлении в ускоряющей промежутке на 1–2 порядка выше. Более высокое рабочее давление в пушке с плазменным эмиттером снижает перепад давления от области формирования пучка до атмосферного, что позволяет использовать более простую систему дифференциальной откачки.

Результаты модельных расчетов [3] показали, что устройство вывода электронного пучка на основе плазменного эмиттера может обеспечивать требуемый перепад давления при использовании всего двух ступеней откачки. Такое устройство было разработано и изготовлено (Рис. 1).

Состоит устройство вывода из системы генерации электронного пучка (высоковольтная пушка с плазменным эмиттером) и системы транспортировки пучка в атмосферу (система дифференциальной откачки).

Высоковольтная пушка с плазменным эмиттером формирует электронный пучок с энергией 120 кэВ и током до 200 мА. Принцип действия пушки основан на эмиссии электронов из плазмы под действием высоковольтного электрического поля. Для генерации эмитирующей плазмы используется низковольтный отражательный разряд с полым катодом [4].

Разряд формируется в разрядной ячейке (Рис. 1. б), образованной внутренними поверхностями электродов: полого катода 1, цилиндрического анода 2 и эмиттерного катода 3. Необходимое для зажигания и горения разряда напряжение, прикладывается между катодами и анодом. В пространстве между полым и эмиттерным катодами постоянным магнитом 4 создается аксиально-симметричное поле с индукцией на оси около 0,1 Т. Через отверстие в полом катоде напускается газ. Величина напуска лежит в диапазоне 10–20 см³атм/ч. Эмиссионный канал выполнен на оси эмиттерного катода. Электрическое поле, ускоряющее электроны, создается между эмиттерным катодом и заземленным экстрактором 5. Область, ограниченная поверхностями эмиттерного катода и экстрактора, представляет собой ускоряющий промежуток. Откачка ускоряющего промежутка, происходит через патрубок 6 турбомолекулярным насосом с производительностью 800 л/с.

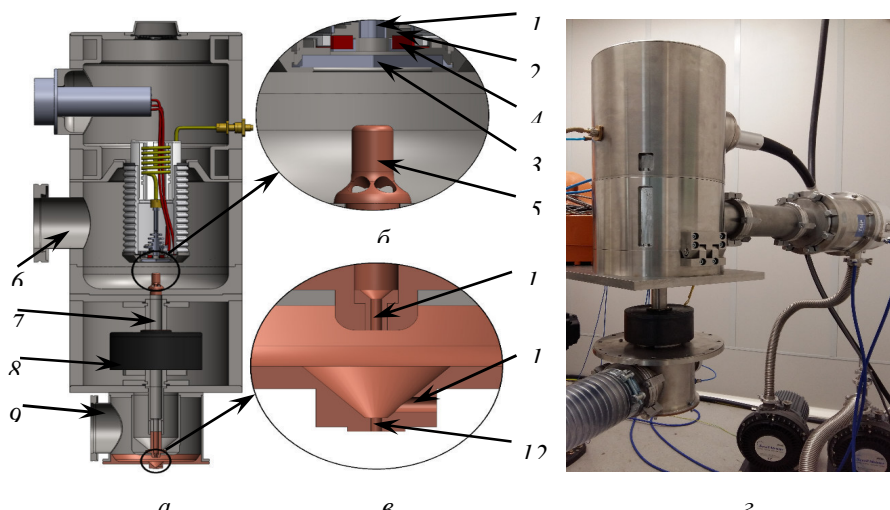


Рис. 1. 3D модель (а) с выделенными областями (б, в) и внешний вид(г) устройства вывода электронного пучка в атмосферу на основе плазменного эмиттера: 1 – полый катод; 2 – анод; 3 – эмиттерный катод; 4 – постоянный магнит; 5 – экстрактор; 6 – патрубок откачки второй ступени; 7 – лучепровод; 8 – магнитная линза; 9 – диафрагма второй ступени; 10 – патрубок откачки первой ступени; 11 – отверстие cross-jet; 12 – диафрагма первой ступени.

Сформированный в ускоряющем промежутке электронный пучок транспортируется через лучепровод 7. В области лучепровода на электронный пучок действует магнитное поле фокусирующей линзы 8.

Ускоряющий промежуток и лучепровод, заканчивающийся диафрагмой 10 с протяженным цилиндрическим каналом длиной 7 мм и диаметром 2,5 мм, образуют вторую ступень системы дифференциально откачки. В экстракторе выполнены периферийные отверстия, площадь которых не менее чем в шесть раз превышает площадь осевого канала экстрактора. Наличие периферийных отверстий позволяет перенаправить большую часть потока, поступающего из атмосферы, непосредственно к патрубку откачки второй ступени и тем самым приблизить распределение давления в ускоряющем промежутке устройства вывода к распределению в пушке с плазменным эмиттером, работающей на вакуумной камере.

Через диафрагму второй ступени сфокусированный электронный пучок транспортируется в область первой ступени. Первая ступень образована областью, ограниченной диафрагмой второй ступени и выходной диафрагмой 12, через которую электронный пучок выводится в атмосферу. Пучок сфокусирован в плоскости выходной диафрагмы. Откачка первой ступени осуществляется насосом с производительностью 500 л/с через патрубок 9. В диафрагме первой ступени выполнен канал 11, ось которого составляет угол 90° с осью распространения пучка. Канал служит для формирования поперечной струи газа (cross-jet). Наличие cross-jet позволяет снизить поток газа, поступающего из атмосферы, в канал диафрагмы второй ступени.

В таблице 1 представлены результаты измерения давления в областях устройства вывода электронного пучка в зависимости от диаметра канала в диафрагме второй ступени. Диаметр канала в диафрагме первой ступени составляет 2 мм, увеличение которого требует более производительных откачных средств, а уменьшение значительно ухудшает токопрохождение электронного пучка. Давление газа (воздух) на входе в cross-jet составляет 1 атм. Для измерения давления на выходе патрубков первой и второй ступеней использовались датчики Pirani APGX-L-15 и IONIVAC ITR-90 соответственно.

Таблица 1

Результаты измерения давления в ступенях устройства вывода электронного пучка в атмосферу

Диаметр диафрагмы второй ступени (мм)	Давление в первой ступени (Торр)	Давление в ускоряющем промежутке (Торр)
2	8,2	$9,3 \cdot 10^{-5}$
3	6,4	$2,2 \cdot 10^{-4}$
4	5,7	$4,1 \cdot 10^{-4}$

Разработанное устройство вывода электронного пучка на основе плазменного эмиттера в сочетании с насосами оптимальной производительности обеспечивает давление в ускоряющем промежутке около 10^{-4} Торр, позволяет выводить электронный пучок с энергией 120 кэВ и током до 200мА в атмосферу и может быть использовано в электронно-лучевых вневакуумных технологиях получения композиционных нанопорошков, наплавки покрытий, сварки и резки металлов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Соглашение № 14.577.21.0018 (RFMEFI57714X0018).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. EP 0924019 Германия. МПК7 B23K 15/10. Vorrichtung zum Elektronenstrahlschweissen unter Atmospharendruck / Joseph L. Lovett, Gunter G. Schubert. Заявлено 22.12.1998; Оpubл. 06.11.2002.
2. Завьялов М.А., Зверев В.В., Шапиро А.Л. Методика расчета системы дифференциальной откачки // Приборы и техника эксперимента. – 1983. – № 4. – С. 162–164.
3. Kornilov S., Rempe N., Shidlovkiy S. Beam transport system to the atmosphere for electron gun with a plasma emitter // 8-th International Scientific and Technical Conference on Beam Technologies and Laser Application (BTLA 2015) – Saint-Petersburg, 2015. – P. 24-32.
4. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения. – Томск: Издательство НТЛ, 2005. – 216 с.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ
ТОКА ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ БЕЗ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ**

Д.А. Корольский, С.Г. Михальченко

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Г.Я. Михальченко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

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

E-mail: Danmypro@sibmail.com

**COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS TO REDUCE LOW-FREQUENCY CURRENT RIPPLE
OF ELECTROLYTIC CAPACITORS-LESS LED DRIVER**

D.A. Korolsky, S.G. Mikhachenko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. G.Ya. Mikhachenko

Tomsk State University of Control System and Radioelectronics

Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: Danmypro@sibmail.com

Abstract. *The paper compares the basic topologies of LED lighting drivers - linear power supply and driver with pulse-width modulation. Produced modeling and marked advantages and disadvantages of each.*

В настоящее время на рынке освещения большую популярность приобрели светодиодные светильники. Их преимущество по сравнению с другими состоит в большей экономичности и повышенным сроком эксплуатации. Срок службы ламп накаливания - 1-2 тыс. часов, люминесцентных ламп не более 10 000 часов. Светодиоды от мировых производителей при правильной эксплуатации могут прослужить до 100 000 часов [1]. Последним для работы необходим постоянный ток, для обеспечения которого разрабатывают специальные источники питания (драйвера). Однако большинство современных драйверов служат гораздо меньше, чем сами светодиоды, поэтому необходимо совершенствовать их в целях повышения надежности и срока службы светодиодного светильника.

В источниках питания светодиодных светильников самым ненадежным элементом является электролитический конденсатор. Согласно справочнику [2], интенсивность отказов у него намного больше чем у керамического и пленочного. Таким образом, исключив его, сможем увеличить надежность и срок службы светодиодных драйверов. Однако просто убрать их нельзя, это приведет к появлению низкочастотных пульсаций тока в нагрузке, отрицательно влияющих на состояние человека.

Самый простой метод уменьшения низкочастотных пульсаций - значительное повышение индуктивности дросселя фильтра. В статье [3] авторы рассматривают пассивный линейный преобразователь, схема которого представлена на рис. 1а.

Дроссель L_f и конденсатор C_f образуют фильтр электромагнитных помех. Диоды $VD1$ - $VD4$ - входной выпрямитель. Конденсаторы $C1$, $C2$, диоды $VD5$, $VD6$ и $VD7$ - пассивный корректор коэффициента мощности. Чтобы амплитуда пульсаций тока в нагрузке были не большими, необходимо взять дроссель $L1$ большей индуктивности. Выберем ее значение 3,8 Гн. Для данной схемы была построена модель в среде LTSpice и получена диаграмма тока нагрузки, представленная на рис. 1б.

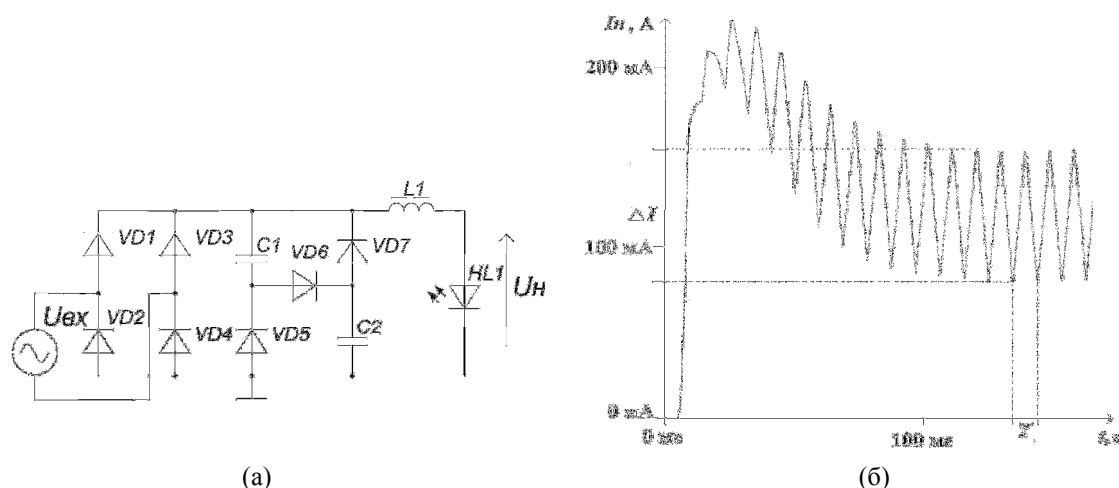


Рис. 1. Схема електрична лінійного джерела (а) і часовий графік струму навантаження його моделі (б)

На графіку час T – період одного коливання, рівний 10 мс. Амплітуда пульсацій струму навантаження ΔI становить 81 мА. Середнє значення струму навантаження 130 мА. Коефіцієнт пульсацій струму навантаження становить 62%, що достатньо велико. Потужність в навантаженні 25,55 Вт. Потужність споживана 26,4 Вт. ККД становить 96,8 %. Даний спосіб ефективний, але щоб досягти хорошого зменшення низькочастотних пульсацій, необхідно мати дросель великої індуктивності, що повлечет за собою значительне збільшення масогабаритних показників джерела живлення.

В статті [4] автори пропонують інший спосіб – використання активного перетворювача з ШІМ-керуванням, або імпульсного перетворювача, для світлодіодного драйвера, схема якого показана на рис. 2.

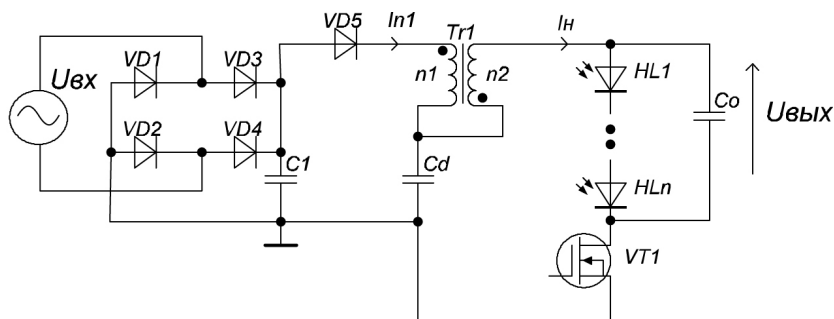


Рис.2. Електрична схема драйвера з ШІМ

Принцип його роботи оснований на тому, що конденсатор Cd накопичує енергію, коли миттєве входне напруга велика, і віддає її в навантаження, коли миттєве входне напруга мало. В момент відкритого стану транзистора $VT1$ струм від розряджаючого конденсатора Cd , наростаючи, тече через вторинну обмотку трансформатора $n2$. Коли транзистор закритий, Cd накопичує енергію. Він заряджається від входного напруги і зменшуючогося струму первинної обмотки $n1$. В середі LTSpice було проведено моделювання даного перетворювача (рис. 3) при потужності навантаження 25 Вт.

На рис. 4 представлені часові графіки струму навантаження. По графікам видно, що амплітуда низькочастотних пульсацій становить 44 мА, при середньому значенні струму навантаження 614 мА. коефіцієнт пульсації становить 7,2 %, що значно нижче, ніж у лінійного. Потужність споживана і в навантаженні 28,07 Вт і 25,3 Вт. відповідно. ККД становить 90,13 %.

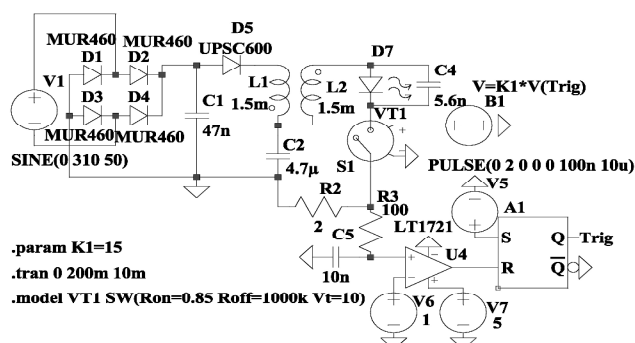


Рис. 3. LTSpice-модель светодиодного драйвера с ШИМ

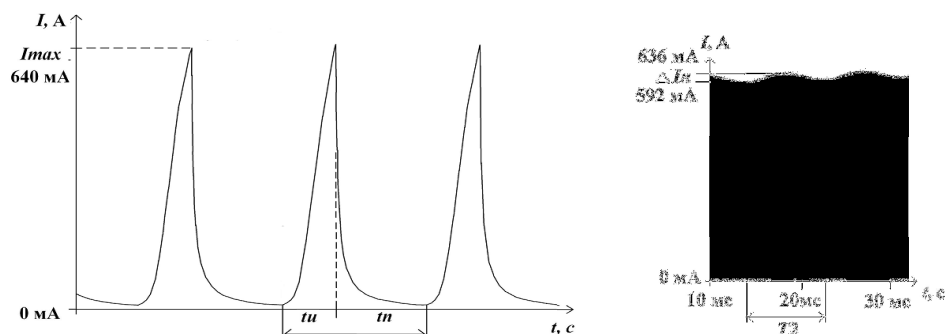


Рис. 4. Высокочастотные (а) и низкочастотные (б) пульсации тока нагрузки

В статьях [5, 6] предложены способы, основанные на том же принципе: когда мгновенная входная мощность выше средней, в дополнительных реактивных элементах идет накопление энергии, а когда ниже – передача ее в нагрузку.

Исходя из полученных результатов следует, что использование линейного преобразователя без электролитических конденсаторов позволит достичь хорошего КПД, однако пульсации тока в нагрузке будут большими. Для уменьшения последних необходимо использовать дроссель с большой индуктивностью, что сильно ухудшит массогабаритные показатели источника питания. КПД импульсного преобразователя ниже, чем у линейного, но, несмотря на это, предложенное схемотехническое решение позволит значительно снизить низкочастотную составляющую тока нагрузки, не ухудшая массогабаритных параметров источника питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сравнение светодиодных ламп с люминесцентными, галогенными, лампами накаливания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://svetlix.ru/articles/lamps_comparison. – 16.03.14.
2. Надежность электрорадиоизделий. Справочник [Текст]. – М.: МО РФ, 2006. - 641с.
3. Hui S. Y. (2010) A Novel Passive Offline LED Driver With Long Lifetime. Journal IEEE Transaction Power Electronics, no. 10, pp. 2665–2672.
4. J.C.W. Lam (2015) A High Power Factor, Electrolytic Capacitor-Less AC-Input LED Driver Topology With High Frequency Pulsating Output Current. Journal IEEE Transaction Power Electronics, no. 2, pp. 943–954.
5. Chen Wu. (2012) Elimination of an Electrolytic Capacitor in AC/DC LED Driver With High Input Power Factor and Constant Output Current. Journal IEEE Transaction Power Electronics, no. 3, pp. 1598–1607.
6. Wang Shu. (2012) A Flicker-Free Electrolytic Capacitor-Less AC/DC LED Driver. Journal IEEE Transaction Power Electronics, no. 11, pp. 1598-1607.

ЦВЕТОВАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Я.В. Костелей

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. И.Г. Боровской
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: yaninabaler@mail.ru

COLOR SEGMENTATION OF OBJECTS ON IMAGE

Ya.V. Kosteley

Scientific Supervisor: Prof., Dr. I.G. Borovskoy
Tomsk state University of control systems and radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: yaninabaler@mail.ru

Abstract. *The paper presents a method of color segmentation on image with prior treatment for removing noise, poor contrast, sharpen. It involves the use of methods such as Gaussian blur, unsharp masking, histogram equalization, mathematical morphology, median filter.*

Часто изображение приставляется для наблюдателя в виде совокупности однородных участков, отличающихся друг от друга теми или иными характеристиками. Количество различных типов, или классов, участков обычно невелико, вся же картина разделена на непересекающиеся области, каждая из которых заполнена изображением одного из типов. При анализе таких изображений наблюдателем или автоматической системой целью является определение геометрических областей и указание для каждой из них номера типа (класса). Иногда такую совокупность сведений об исходном изображении называют её картой. Обработка изображения, позволяющая получить карту, называется сегментацией.

Большое разнообразие в задачу сегментации вносит обработка цветных изображений. Одним из важнейших признаков для сегментации в этом случае может служить цвет, который дополняет совокупность характеристик, применяемых при обработке черно-белых изображений. Но для более эффективной работы многих алгоритмов, в частности цветовой сегментации, необходима предварительная обработка изображений. Рассмотрим некоторые из них.

Контрастом изображения называется разность между максимальным и минимальным значениями яркости. Слабый контраст – наиболее распространенный дефект изображений. Для коррекции данного дефекта необходимо привести гистограмму к нормальному распределению, поскольку наиболее удобным для восприятия человеком будет изображение, в котором гистограмма изображения содержит все возможные значения яркости и при этом в примерно одинаковом количестве. В процессе выравнивания гистограммы (эквализации) происходит изменение значений яркости пикселей таким образом, чтобы для каждого уровня яркости было одинаковое или близкое количество пикселей.

Для повышения качества изображения используются различные фильтры и преобразования. Одним из способов нелинейной фильтрации является использование матрицы свертки. Матрица свёртки – это матрица коэффициентов, которая «умножается» на значение пикселей изображения для получения

требуемого результата. Процесс «сворачивания» пикселей заключается в следующем: матрица свертки накладывается на каждый пиксель изображения при совмещении его с центром матрицы свертки (центром матрицы свертки является ее центральный элемент), пикселю присваивается значение суммы произведений цвета пикселя изображения и наложенного на него элемента матрицы свертки, деленное на весовой коэффициент матрицы свертки (сумма всех элементов матрицы свертки).

Одним из часто применяемых фильтров матриц свертки для предварительного размытия изображения перед алгоритмами сегментации и выделения границ является фильтр Гаусса. Элементы ядра фильтра свертки формируются с помощью Гауссовой функции. Сила размытия будет зависеть от размера ядра свертки и величины σ (радиус). Для корректного формирования ядра необходимо использовать правило трех сигм.

Для снижения шума и усреднения цветов на изображении часто используют медианный фильтр. Идея фильтра заключается в следующем: значению текущего пикселя присваивается медиана от значений его окрестности. От величины окрестности будет зависеть сила применяемого фильтра.

Для повышения резкости изображения во многих графических редакторах используют нерезкое маскирование. В данном методе исходное изображение преобразуется по следующему правилу («*» является операцией свертки):

$$I' = (1 + \alpha)I - \alpha I G_{\sigma}$$

где α – параметр резкости;

I – исходное изображение;

G_{σ} – ядро Гаусса с радиусом σ .

Для выделения объектов определенного цвета на изображении необходимо перевести цветовую модель RGB изображения в HSV. HSV – цветовая модель, в которой координатами цвета являются: цветовой тон, насыщенность, яркость. Данное определение цвета позволяет для данной задачи задавать параметры, которые более удобны для восприятия человеком: например, ограничить параметр цветового тона в интервале 47–75° для получения желтых объектов (рис. 1).

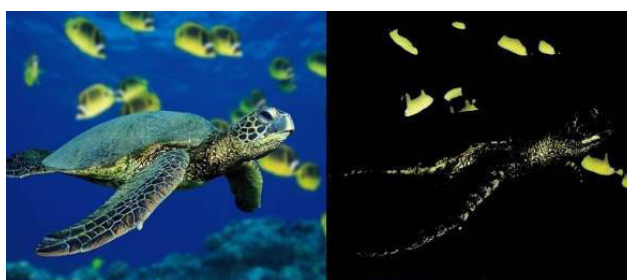


Рис. 1. Цветовая сегментация по компоненте H в диапазоне (47; 75)

Из полученных координат цвета пикселей можно определить маску изображения по следующему правилу: если цветовая координата текущего пикселя входит в предложенный интервал, данный пиксель помечается в маске как черный, иначе – как белый. В результате получится бинарная маска, с которой можно производить операции математической морфологии (рис. 2). Совокупность операций математической морфологии позволяет удалить с изображения ненужные мелкие элементы, сделать контур фигур более гладким, устранить «дыры», создать контур фигур для выделения объектов (рис. 2).

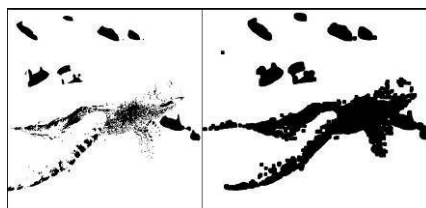


Рис. 2. Операція нарізання

Для сегментації об'єктів необхідно провести виділення зв'язних компонент на бінарному зображенні. В даній роботі використано модифікований двохпрохідний алгоритм послідовного сканування для восьми зв'язних елементів. Даний метод заключається в наступному. Кожна строка матриці зображення послідовно сканується в течение двох ітерацій. На першій ітерації відбувається заповнення локальної таблиці еквівалентностей. Далі проводиться аналіз таблиці еквівалентностей, визначаються метки - представники, які будуть присвоєні пікселям поточної строки при повторному скан – проході (друга ітерація). Процес сканування для кожного пікселя проводиться для сусідів, позначених на рис. 3, де елемент e – досліджується піксель, а a, b, c, d – сусіди.

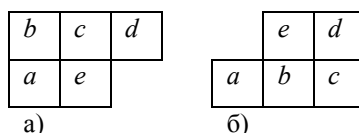


Рис. 3. а) розмітка скан-маски прямого проходу; б) розмітка скан-маски прямого проходу

При першому проході значення масивів L (масив меток сегментації) і T (таблиця еквівалентностей) приймають наступні значення:

- якщо поточний піксель закрашений, а метка кожного сусіднього пікселя не позначена як частина області, то поточної метці пікселя присвоюється новий номер області;
- якщо поточний піксель закрашений, і метки сусідів однакові, то метці поточного пікселя присвоюється номер будь-якої сусідньої позначеної метки;
- якщо поточний піксель закрашений, і метки сусідів мають різні значення, то метці поточного пікселя присвоюється мінімальне значення меток сусідів, а також значення меток додаються в таблицю еквівалентностей.

При наступних проходах відбувається зміна меток пікселів об'єктів, які містять суміжні чорні пікселі, що належать скан-масці, відповідно до таблиці еквівалентностей. Для побудови таблиці еквівалентностей використання структури даних для об'єднання-пошуку (union-find) дозволяє оптимізувати швидкість виконання алгоритму.

В результаті виконаних ітерацій отримується маска пронумерованих зв'язних областей, яка дозволить аналізувати області в алгоритмах розпізнавання образів (рис. 4).

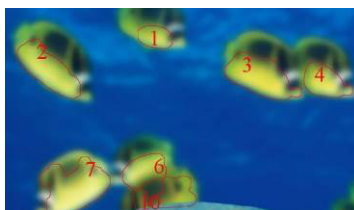


Рис. 4. Пронумеровані сегменти жовтого кольору

В результаті даної роботи розроблено застосунок, що реалізує ці методи.

**ПОСТРОЕНИЕ ТРЕНДОВОЙ МОДЕЛИ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА
ОСНОВЕ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ**

Я.В. Костелей

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. И.Г. Боровской
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 40, 634034
E-mail: yaninabaler@mail.ru

**BUILDING TREND MODEL OF FINANCIAL TIME SERIES BASED ON PIECEWISE-LINEAR
APPROXIMATION**

YA.V. Kosteley

Scientific Supervisor: Prof., Dr. I.G. Borovskoy
Tomsk state University of control systems and radioelectronic, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634034
E-mail: yaninabaler@mail.ru

***Abstract.** The paper presents a method of constructing a trend model of the financial series to assess the predictive properties of the trend patterns and short-term forecast of the trend model.*

Задача прогнозирования поведения сложных динамических систем, таких как финансовые временные ряды, является трудно формализуемой. Механизм формирования биржевой цены заранее не известен, но имеется история изменения временного ряда. Существует множество математических моделей и методов, используемых для анализа и составления прогноза поведения финансового рынка по его истории, но вопрос нахождения математического и алгоритмического аппарата, успешно решающего задачу экстраполяции финансового ряда, остается до сих пор открытым. В данной работе предлагается провести оценку применения кусочно-линейной аппроксимации для определения тенденции изменения финансового рынка.

Одна из основных задач изучения динамических рядов – определить основную закономерность в изменении значений временного ряда, которая называется трендом. Задача выявления тренда может осложняться тем, что тенденция изменения уровней финансового ряда может проявляться не явно ввиду влияния случайных и неслучайных колебаний рынка. Поэтому для того, чтобы выявить основную закономерность в изменении рынка необходимо отделить тренд от случайных кратковременных колебаний. С помощью полученной трендовой модели в последующем времени можно экстраполировать дальнейшую динамику рынка.

Одним из часто применяемых методов обработки динамических рядов для устранения случайных колебаний и определения тренда является выравнивание уровней ряда с помощью аппроксимации. Целью аналитического выравнивания является определение для эмпирических значений ряда y_i соответствующих теоретических значений $\hat{y}_i$, которые рассчитываются по уравнению $f(t)$. При этом каждый эмпирический уровень y_i можно представить как сумму двух составляющих:

$$y_i = f(t) + \varepsilon_i$$

где $f(t) = \hat{y}_i$ - систематическая составляющая, отражающая тренд и выраженная определенным уравнением;

ε_i - случайная величина, вызывающая колебания уровней вокруг тренда.

Для аппроксимации с целью выделения трендовой линии финансового ряда в качестве аналитических уравнений часто используются простейшие функций. Примером таких функций может служить прямая линия, заданная следующим уравнением:

$$\hat{y}_i = a_0 + a_1 t \quad (1)$$

где t – условное обозначение времени;

a_0, a_1 – параметры аналитической функции.

Одним из наиболее часто используемых методов для решения задачи аппроксимации является метод наименьших квадратов (МНК). Суть данного метода заключается в нахождении на основании практических значений такой аналитической функции, для которой сумма квадратов отклонений эмпирических значений y_i от теоретических $\hat{y}_i$ минимальна.

Одним из методов построения модели движения трендов является кусочно-линейная аппроксимация. Основная идея метода локальной аппроксимации (ЛА) заключается в том, чтобы разбить область определения функции на несколько интервалов, для каждого из которых будет находиться своя аналитическая функция, и в дальнейшем анализ параметров модели проводить отдельно для каждой области.

В данной работе предложено производить аппроксимацию интервала, пока сумма квадратов отклонений эмпирических значений ряда от теоретических не превысит заданное значение. Если же на следующей точке оценка превышает заданный параметр, для расчетов будут использоваться последние три рассматриваемые точки в качестве интервала аппроксимации. В результате данного прохода получается набор трендовых линий, разделяющих область интервала.



Рис. 1. Результат МНК

На рисунке 1 можно увидеть, что конечные точки полученного набора трендовых линии значительно отдалены друг от друга. Чтобы произвести «сглаживание» полученной модели, необходимо провести усреднение параметров функции. Одним из способов является получение точки пересечения диагоналей трапеции, определяемой путем опускания перпендикуляров к временной оси на соседний тренд. В результате конечная точка первого рассматриваемого тренда и начальная точка второго тренда сдвигаются в точку пересечения диагоналей. В результате получается кривая, составленная из трендовой модели.



Рис. 2. Результат «сглаживания» модели

На рисунке 2 можно увидеть, что часть последовательно идущих трендов заданы одним направлением, что позволяет заменять их на один базовый тренд, который позволит указывать тенденцию роста или спада на более длинном интервале. Показателем направления в линейной функции (1) является коэффициент a_0 . Если параметр a_0 больше нуля, то прямая возрастает. Если же параметр a_0 меньше нуля, то – убывает. В результате получается набор разнонаправленных трендов, которые позволят исследовать закономерности шаблонов в данном финансовом ряде и предполагать краткосрочную динамику развития рынка.

В моменты консолидации рынка, которые происходят внутри долговременных трендов, важной информацией для составления прогноза является предположение о том, в каком направлении рынок продолжит свое движение. В трейдерской практике предполагается, что существует два типа фигур (моделей), позволяющих определить, в каком направлении произойдет движение тренда. Первый тип называется фигурами продолжения тренда – эти фигуры предполагают, что тренд не изменит свое направление. Второй тип фигур, которые предполагают изменение движения тренда в противоположном направлении, называются фигурами разворота. В качестве базовых моделей можно привести треугольник, флаг и выпел. Треугольники, флаги и выпелы – это узкие и краткосрочные фазы консолидации цен внутри долговременных трендов, предполагающие гипотезу о паузах в сильном тренде. Если значение тренда пересекает границу фигуры флага или выпела в направлении, которое соответствует данной фигуре – тренд продолжает свое движение по закономерностям паттерна. Если же цена пересекает границу флага или выпела в направлении, которое противоположно ожидаемому, то можно предположить то, что в данной точке наблюдается разворот существующей тенденции.

Использование гармоничных моделей основывается на том, что повторяющиеся фигуры на графиках финансового ряда позволяют уверенно предположить дальнейшую тенденцию рынка. В отличие от базовых моделей, описанных выше, гармоничные паттерны позволяют спрогнозировать длину движения тренда в зависимости от длин формообразующих элементов паттерна. Предполагается, что данные длины подчиняются закономерностям в соотношении друг с другом. Основные паттерны данного типа: «5-0», «летучая мышь», «бабочка», «три движения» («три индейца»), «краб», «бабочка Гартли» и «AB=CD».

На данном этапе работы реализован описанный алгоритм построения трендовой модели на базе торговой платформы MethodTrader. В дальнейшем планируется произвести оценку прогностических свойств полученной трендовой модели и использования «трейдерских паттернов» для разных финансовых рынков, торговых периодов и промежутках исследования.

ПРИМЕНЕНИЕ СЕРВЕРОВ ОТЧЕТОВ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

К.А. Костенко

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Е.А. Мирошниченко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: kak31@tpu.ru

APPLICATION OF REPORTING SERVICES IN THE CORPORATE INFORMATION SYSTEMS

K.A. Kostenko

Scientific Supervisor: Docent, Ph.D. E.A. Miroshnichenko

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

E-mail: kak31@tpu.ru

Abstract. *This provides an analysis of functionality of the existing reporting systems to select the best of them, which will be the basis for the creation of a specialized report server through the development of EAM-systems.*

К основным задачам корпоративных информационных систем относится оперативное предоставление информации пользователям, которым она необходима для принятия решений. Структура используемых баз данных (далее БД) в этих системах, в первую очередь ориентирована на решение задач обеспечения целостности, полноты и непротиворечивости, а не на удобство выборки данных из базы данных в нужном для приложения виде. Одной из важных задач внешнего уровня (согласно архитектуре ANSI-SPARC) является построение отчётов.

Корпоративные информационные системы имеют определенную, соответствующую их функциональным требованиям, систему отчётности уровня приложения, которая предоставляет информацию, хранящуюся в базах данных пользователям или другим организациям. Однако не все задачи можно решить средствами, встроенными в традиционные системы отчётности. Целью данной работы является создание сервера специализированных отчётов, который сможет выполнять контролируемое кэширование отчётов, а также планировать их построение по расписанию, обеспечивая тем самым хорошую производительность, которой невозможно достичь при организации отчётов средствами приложения. Именно создание сервера отчётов позволит устранить недостатки, характерные организации построения отчётов на клиентах, а именно избежать сбоев в работе системы отчётности, необходимости вносить новые данные или изменять существующие и организовывать запуск сразу нескольких отчётов одновременно.

На сегодняшний день уже существуют системы промышленного уровня, обладающие множеством функциональных возможностей для построения отчётов в корпоративных информационных системах, как например, Oracle Report, Centura Report Builder, Crystal Report, 1С:Предприятие, Optima-WorkFlow и PayDox. Каждая из них имеет как свои особенности, так и недостатки. Ниже приведен анализ этих систем по определенным параметрам:

- поддерживаемые интерфейсы для доступа к СУБД, возможность выбора произвольной формы отчёта и возможность экспорта отчётов (таблица 1);
- наличие средств создания вычисляемых полей и параметризации запросов (таблица 2);
- наличие средств работы с графикой и OLAP-средствами (таблица 3).

Таблица 1

Сравнение систем отчётностей по поддерживаемым СУБД, возможности выбора произвольной формы отчёта и возможности экспорта отчётов

Критерий сравнения	Oracle Report [1]	Centura Report Builder	Crystal Report	1С:Предприятие	Optima-WorkFlow [1]	PayDox [2]
Поддержка интерфейсов для доступа к СУБД	Oracle, ODBC	SQLBase, ODBC	ADO, ODBC, DAO и др.	MS SQL Server	ODBC	Access, MS SQL
Дизайнер отчётной формы	есть	есть	есть	нет	есть	нет
Вывод на печать	есть, своими средствами	есть, своими средствами	есть, своими средствами	есть, с помощью Excel	есть, с помощью Crystal Report	есть, с помощью HTML, Word
Поддерживаемые форматы отчётов	только собственный формат	собственный формат и формат Excel	собственный формат и форматы Word, PDF, Excel, Plain Text, RTF и HTML	собственный формат и формат Excel	только собственный формат	собственный формат, а также форматы HTML и Word

Таблица 2

Сравнение систем отчётностей по наличию в них средств создания вычисляемых полей и параметризации запросов

Критерий сравнения	Oracle Report [1]	Centura Report Builder	Crystal Report	1С:Предприятие	Optima-WorkFlow [1]	PayDox [2]
Создание вычисляемых полей	есть	есть	есть	нет	есть	есть, как и поддержка VB Script
Создание параметров запросов	есть	есть	есть	есть возможность задавать временной диапазон для фильтрации записей	есть	есть возможность параметризовать запрос, но только константами
Создание системных переменных	есть	есть	есть	нет	есть	есть

Таблица 3

Сравнение систем отчётностей по наличию в них средств работы с графикой и OLAP-средствами

Критерий сравнения	Oracle Report [1]	Centura Report Builder	Crystal Report	1С:Предприятие	Optima-WorkFlow [1]	PayDox [2]
Вставка изображений	можно	можно	можно	можно	можно	нельзя
Использование диаграмм	нельзя	нельзя	можно, но только с наличием пакета Crystal Analysis	можно	нельзя	можно
Вставка графических элементов	можно	можно	можно	нельзя	можно	нельзя

Как видно из анализа существующих систем отчётностей, хоть каждая из них обладает рядом достоинств, тем не менее, ни одна из них не сможет решить проблемы, связанные с возможностями строить отчёт по расписанию, управлять кэшированием отчётов при необходимости, пополнять данными ранее сгенерированный отчёт, а также с наличием API-интерфейса, позволяющего другим приложениям получать отчёты и с сохранением безопасности данных, предоставленных пользователями.

Даже существующая на рынке информационных систем централизованная система построения отчётов, Microsoft SQL Server Reporting Services [3], не может решить данные проблемы. Поэтому в рамках создания ЕАМ-системы был разработан специализированный сервер отчётов, основанный на Reporting Services, обладающих рядом дополнительных функциональных возможностей, по сравнению с другими системами отчётностей. К этим возможностям относятся:

- администрирование отчётов через веб-сервис,
- использование языка разметки XML,
- проектирование через Microsoft Visual Studio,
- экспорт отчётов с помощью электронной почты,
- безопасность на уровне БД, помогающая осуществлять контроль над доступом пользователей к информации,
- создание отчётов произвольной формы,
- поддержка параметризованных отчетов.

В сервер отчётов встроен собственный API для осуществления взаимодействия с клиентскими приложениями, добавлена функция построения отчётов по расписанию, а также функция кэширования нескольких одновременно запущенных отчётов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Optima-WorkFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.optima-workflow.ru – 29.02.16.
2. PayDox Collaboration Suite [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.paydox.ru – 29.02.16.
3. Колесов А. Microsoft вышла на рынок управления отчетами // PC WEEK/RE. – 2004. – №7. – С. 68-72.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКЗЕМПЛЯРОВ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ПОСРЕДСТВОМ
ФОРМАЛИЗАЦИИ ИХ ТЕКСТОВЫХ ОПИСАНИЙ**

М.И. Кочергин

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

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

E-mail: sorlak@ya.ru

**A DOMAIN KNOWLEDGE EXEMPLAR MODELING BASED ON ITS TEXT DESCRIPTIONS
FORMALIZATION**

M.I. Kochergin

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

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

E-mail: sorlak@ya.ru

***Abstract.** The paper says about methods of a domain knowledge exemplar modeling based on the texts analysis technology and formal data processing. The structure of intelligent system implementing text description formalization and interpretation is suggested. The given examples exhibits the procedure for physics tasks modeling.*

Структуризация предметной области. Формализация и структуризация предметной области (ПО) в целом и её экземпляров в частности являются необходимыми функциями [1] *интеллектуальной информационной системы* (ИИС) способной осуществлять принятие решения при управлении сложными системами разной природы. *Экземпляр* – конкретная реализация некоторого объекта (сущности), выделяемого в ПО. Под *формализацией* будем понимать процесс выявления в ПО (или её экземпляре) элементов (действующих объектов более низкого уровня), их важных характеристик и параметров, под *структуризацией* – процесс моделирования ПО или её экземпляра, выделения отношений между такими объектами и их параметрами. Полученное в ходе указанных процедур формализованное и структурированное представление может быть переведено в компьютерную модель, которая предоставляет такие широкие возможности, как проведение виртуального эксперимента, исследование модели, подбор оптимальных параметров её работы и т.д. При этом процедуру формализации и структуризации конкретных экземпляров ПО можно рассматривать как *интерпретацию* фрагмента её естественно-языкового описания, которым может являться текстовое описание некоторой системы или процесса, составляющих этот экземпляр. Иначе говоря, компьютерная модель некоторого процесса может быть синтезирована ИИС на основе анализа и интерпретации его текстового описания.

Описание задачи. Упростим задачу и представим следующим образом. Пользователь подаёт на вход системы текстовое описание (которое может быть недостаточным для формирования компьютерной модели) некоторого процесса или системы – части ПО. ИИС производит его анализ и интерпретацию, на основании чего формирует первоначальную структуру будущей модели. При необходимости

разъяснения, уточнения или в случае обнаружения противоречий в описании ИИС в вопросно-ответной форме обращается к пользователю, в результате чего доопределяет структуру модели процесса. Затем производится формирование компьютерной модели для дальнейшей работы с ней в одной из сред моделирования. При этом оболочка ИИС должна быть универсальной и для ограниченного круга ПО и моделирующих компьютерных программ.

Структура системы. Требования к ИИС, осуществляющей структуризацию некоторой ПО, определяют её состав:

- 1) внешний интерфейс, осуществляющий интерактивное взаимодействие с пользователем;
 - 2) анализатор текстовых описаний, производящий формализацию описания на уровне текста за счёт использования методов *автоматического анализа текстов*;
 - 3) модуль формализации и структуризации, осуществляющий дальнейшую объективизацию, параметризацию и структуризацию формализуемого представления и формирующего *списковое представление* (текстовое представление на формальном языке, содержащее множество имён компонентов модели ПО с указанием связей их параметров) компьютерной модели рассматриваемого процесса;
 - 4) модуль синтеза компьютерной модели (КМ), непосредственно формирующий компьютерную модель на основе её спискового представления;
 - 5) внутренний интерфейс, осуществляющий поиск моделей компонентов моделируемого процесса в *библиотеке моделей компонентов* (в случае наличия готовых моделей компонентов в среде моделирования) или формирующий требования к генерации новых для *генератора моделей компонентов* (в случае их отсутствия) [2];
 - 6) базу знаний ПО (онтологию) и базу продукционных правил формирования компьютерной модели.
- Функциональная схема разрабатываемой системы представлена на рис. 1.

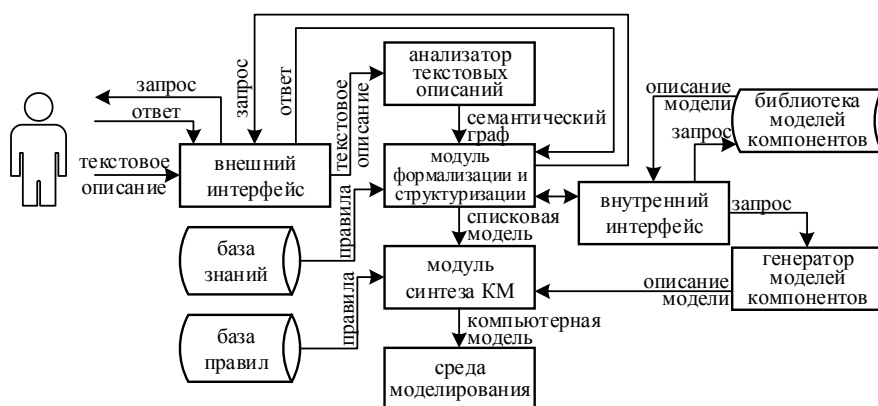


Рис. 1. Структурно-функциональная схема системы

Работа модуля формализации основана на использовании базы знаний ПО. Анализатор текстовых условий и модуль формализации образуют *транслятор* естественно-языкового описания процесса на язык спискового представления. Вместе с модулем синтеза компьютерной модели указанные блоки образуют *интерпретатор*, осуществляющий формирование самой компьютерной модели и её запуск в используемой среде моделирования. Интерпретатор представляет собой универсальную оболочку: для проведения работы в другой ПО необходима замена и заполнение базы знаний ПО, для работы с другой средой моделирования – замена и заполнение базы правил формирования компьютерных моделей.

Работа системы на примере анализа физических задач. Тексты задач по физике состоят из *условия*, описывающего некоторый процесс, *требования*, производящего постановку некоторой проблемы, которую необходимо решить. Также решение задач по физике требует знания определённой ПО – физики. Таким образом, тексты задач по физике являются *базовыми примерами* описания физико-химических процессов, что допускает рассмотрение процесса их решения как небольшой процедуры *исследования*, требующей привлечения экспертных знаний для решения проблемы, поставленной в условиях задачи.

Рассмотрим следующую задачу: «Пушка массой 800 кг выстреливает ядро массой 10 кг с начальной скоростью 200 м/с относительно Земли под углом 60° к горизонту. Какова скорость отката пушки? Трением можно пренебречь». Результатом работы интерпретатора является списковое представление модели, записанное в текстовом виде и содержащее имена компонентов из библиотеки среды моделирования с указанием *порядка соединения их входов* между собой. Приведём фрагмент спискового представления модели для рассматриваемой задачи: « $m1(0)$; Пушка(6,0,5); $m2(1)$; Ядро(6,1,4); $v1(2)$; $MP1(2,4,3)$; $angle(3)$; $X1(5)$ ». Числа в скобках указывают номера ветвей инцидентных соответствующим входам компонента. Так, вход « $p1$ » компонента «Пушка» связан ветвью 6 с входом « $p2$ » компонента «Ядро», « $m1$ » – ветвью 0 с источником величины « $m1$ », « $v1$ » – ветвью 5 с измерителем « $X1$ » и т.д.

Компьютерная модель, формируемая модулем синтеза для среды моделирования MAPS, представлена на рис. 2.

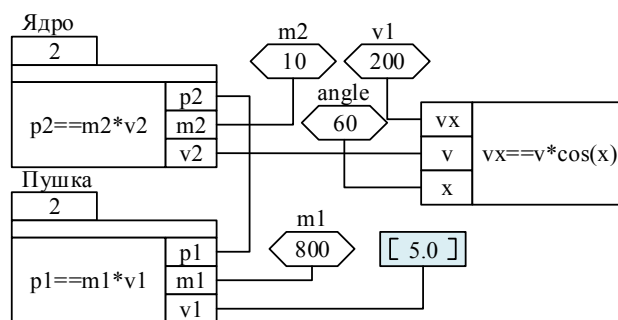


Рис. 2. Компьютерная модель физической задачи

Заключение. Разрабатываемая интеллектуальная система включает в себя адаптируемый интерпретатор текстовых описаний, применимый в частности для автоматизированного формирования компьютерных моделей процессов и систем и структуризации ПО в целом. Интерпретатор производит последовательно *трансляцию* естественно-языкового описания объекта на формальный язык спискового представления и дальнейшую его *интерпретацию* для формирования компьютерной модели. Возможность применения интерпретатора к некоторой ПО обеспечивается базой знаний этой области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мейтус В.Ю. К проблеме интеллектуализации компьютерных систем // Математические машины и системы. – 2008. – Т. 1. – № 2. – С. 24–37.
2. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Коротина Т.Ю. Генератор моделей компонентов физически неоднородных цепей на базе интерактивной математической панели // Доклады ТУСУР. – 2009. – № 2. – С. 94–99.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОМПЕНСАЦИИ
ФОТОРЕФРАКТИВНОГО ИСКАЖЕНИЯ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В КРИСТАЛЛАХ
НИОБАТА ЛИТИЯ С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА**

Е.А. Дмитриев, Е.А. Березина, В.А. Крадько

Научный руководитель: к.т.н. А.С. Перин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники.

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

E-mail: perin.anton@gmail.com

**STUDY OF TIME DEPENDENCE OF COMPENSATION OF A PHOTOREFRACTIVE
DISTORTION OF LIGHT BEAMS IN LITHIUM NIOBATE CRYSTAL DUE TO THE
CONTRIBUTION OF PYROELECTRIC EFFECT**

E.A. Dmitriev, E.A. Berezina, V.A. Kradko

Scientific Supervisor: PhD A.S. Perin

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

E-mail: perin.anton@gmail.com

Abstract. *The time dependence compensation of a photorefractive distortion of the light beam at the output surface of lithium niobate crystal sample from the intensity of the flow of the photorefractive effect have been experimentally studied. Time estimation for complete compensation for the linear and nonlinear diffraction broadening of light beams upon uniform heating of an undoped sample have been obtained.*

В современной фотонике, нелинейной оптике и лазерной технике широко применяются кристаллические материалы, обладающие электрооптическими, сегнетоэлектрическими и нелинейно-оптическими свойствами, позволяющие осуществлять преобразование пространственной структуры светового поля [1]. Эффективность таких преобразований во многих случаях зависит от интенсивности света [1] и температуры образца [2], поэтому волноводно-оптические элементы и системы, обеспечивающие бездифракционное волноводное распространение световых полей, привлекают постоянный интерес при реализации устройств и приборов, включающих оптические компоненты.

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию условий бездифракционного распространения световых пучков в кристаллическом образце номинально чистого ниобата лития за счет вклада фоторефрактивного и пирозлектрического эффектов в нелинейно-оптический отклик среды.

В экспериментах использовался нелегированный кристалл ниобата лития (LiNbO_3) с размерами $4 \times 10 \times 4$ мм³ вдоль осей X , Y , Z соответственно. Для экспонирования использовалось излучение твердотельного лазера YAG:Nd^{3+} в режиме удвоения частоты, работающего в непрерывном режиме. Длина волны света и мощность излучения составляли $\lambda = 532$ нм и $P = 0,5$ мВт. Световой пучок фокусировался на входную грань образца линзой с фокусным расстоянием ~ 4 см, диаметр пучка в области перетяжки по уровню половинной интенсивности составлял ~ 23 мкм, и распространялся в кристалле вдоль оси Y . Поляризация света соответствовала необыкновенной волне в кристалле. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

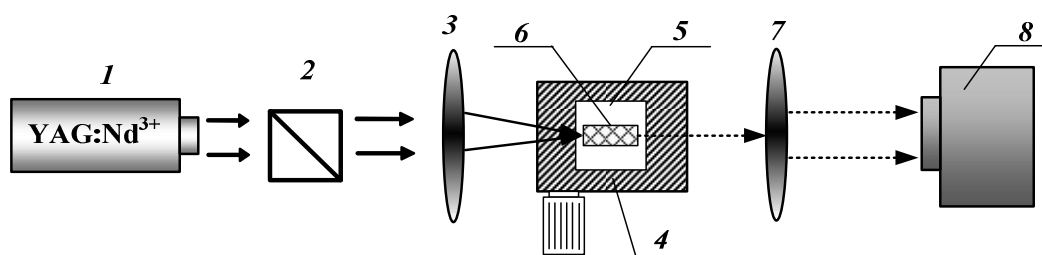


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (1 – YAG:Nd³⁺ с длиной волны излучения $\lambda = 532$ нм, 2 – светоделительный кубик, 3 – фокусирующая линза, 4 – микрометрический столик, 5 – элемент Пельтье, 6 – образец нелегированного кристалла LiNbO₃, 7 – изображающая линза, 8 – АЛП)

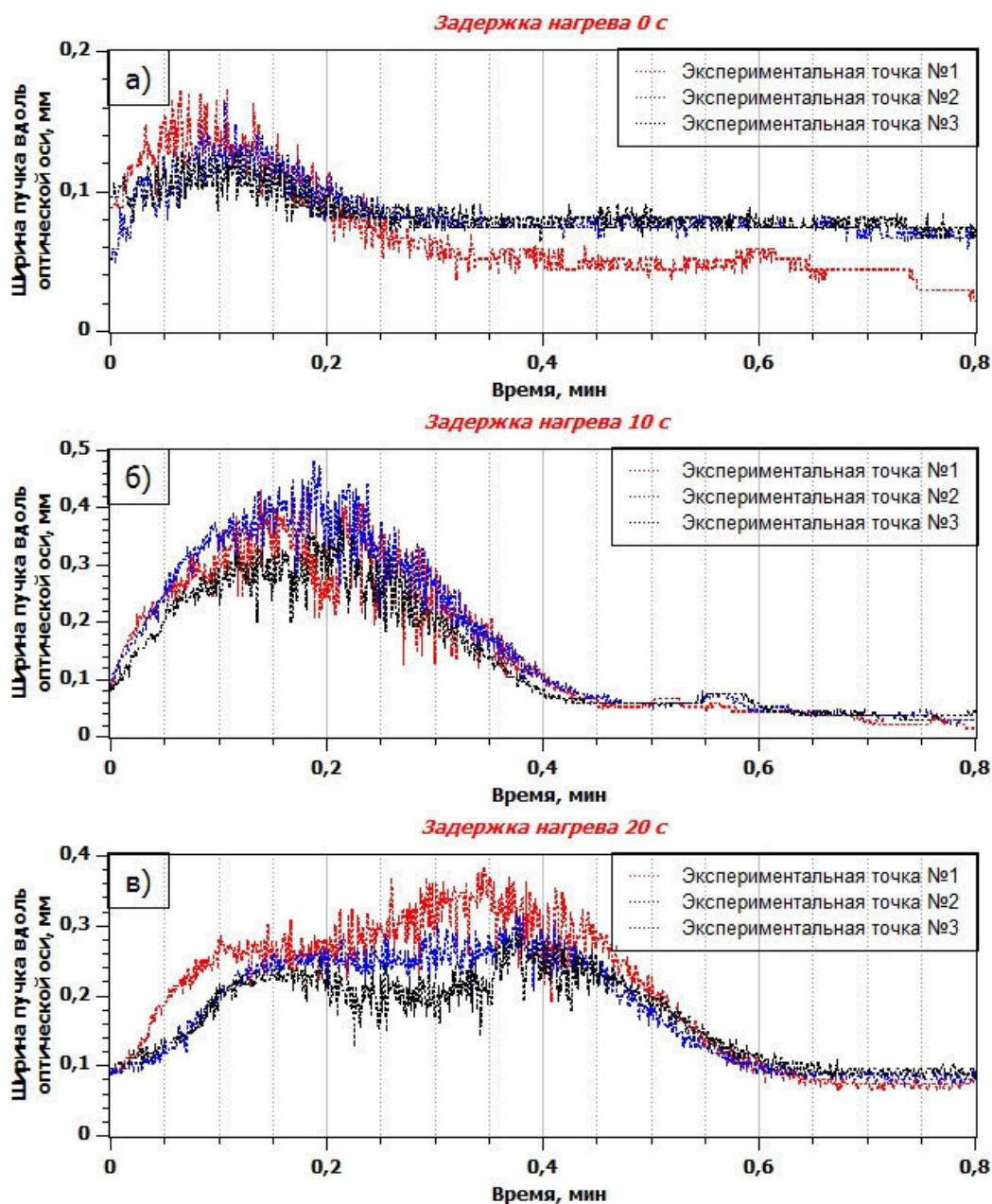


Рис. 2. Графики зависимости ширины пучка от времени экспонирования при вкладе фоторефрактивного и пьезоэлектрического эффектов

Эксперимент проводился при нагреве образца с помощью термоэлектрического преобразователя с керамической поверхностью (5, элемента Пельтье), обеспечивающего однородный (или почти однородный) нагрев кристалла до температуры 70 °С. Для настройки фокальной плоскости линзы (3) на входную грань кристалла использовался светоделительный кубик (2). Картины распределений световых полей, соответствующих изображениям с входной и выходной плоскостей кристалла, проецировались на анализатор лазерных пучков (АЛП) изображающей линзой (7).

При экспонировании кристалла узким лазерным пучком диаметр светового пятна на выходной грани увеличивался вследствие эффекта линейной дифракции и нелинейной дифракции, обусловленной фоторефрактивным эффектом (ФРЭ). Хотя кристалл не легирован фоторефрактивными примесями, эффект фоторефрактивного искажения световых пучков в нем проявлялся из-за наличия собственных дефектов и присутствия неконтролируемых примесей. Фоторефрактивный нелинейный отклик в LiNbO_3 имеет самодефокусирующий характер, поэтому поле E_{sc} индуцирует в освещенной области дефокусирующую нелинейную «линзу» за счет линейного электрооптического эффекта. Эта «линза» приводит к «нелинейной» дифракции светового пучка. Компенсация как линейной, так и нелинейной дифракции света может быть достигнута путем однородного нагрева кристалла, что изменяет величину спонтанной поляризации кристалла, порождая пирозлектрическое поле [3].

На рис. 2 представлены графики зависимости ширины пучка (по уровню половинной интенсивности) вдоль оптической оси от времени при экспонировании кристалла световым пучком и нагревании образца для трех точек, расположенных на расстоянии 0,25 мм друг от друга. В результате работы было выявлено различие времени проявления эффекта компенсации линейной и нелинейной дифракции в зависимости от времени начала нагрева образца, и, соответственно, начала проявления пирозлектрического эффекта. Получено, что для случая одновременного включения индуцирующего излучения и нагрева кристалла, время, необходимое для компенсации дифракционного уширения светового поля, составило $t_1 = 22$ с (рис. 2а). В случае задержки включения нагрева образца на 10 с (рис.2б), время, необходимое для компенсации дифракционного уширения светового поля, составило $t_2 = 26$ с. При увеличении времени воздействия индуцирующего излучения без нагрева кристалла до 20 с, время, за которое световой пучок приобретает начальные размеры, составило $t_3 = 32$ с. (рис.2в)

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках базовой части Госзадания № 2014/225 на 2016 г. и проектной части (работа № 3.878.2014/К).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Suhara Toshiaki. Waveguide Nonlinear-Optic Devices / Toshiaki Suhara, Masatoshi Fujimura. – Series: Springer Series in Photonics. – 2003. – Vol. 11. – 320 p.
2. Perin A.S. Photonic waveguide structures in photorefractive lithium niobate with pyroelectric mechanism of nonlinear response / A.S. Perin, V.M. Shandarov and V.Yu. Ryabchenok // Physics of Wave Phenomena. – 2016. – Vol. 24. – No. 1. – P. 1-4.
3. Popescu S.T. Recording of self-induced waveguides in lithium niobate at 405 nm wavelength by photorefractive-pyroelectric effect / S.T. Popescu, A. Petris, V.I. Vlad // J. Appl. Phys. – 2013. – Vol. 113. – Art. 213110.

**ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ TCAD ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРО- И
НАНОЭЛЕКТРОНИКИ**

И.А. Лысенко, Д.Д. Зыков

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Р.В. Мещеряков

Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники,

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

E-mail: Caladenia92@gmail.com

**THE USE OF TCAD TOOLS IN MICRO- AND NANOELECTRONIC COMPONENTS
CREATION**

I.A.Lysenko, D.D.Zykov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. R.V.Meshcheryakov

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

E-mail: Caladenia92@gmail.com

Abstract. *The article introduces benefits and application features of TCAD tools in sub-micron elements MIC creation. The timeline and overview of main technology & device simulation software are given.*

Активное развитие микроэлектроники и стремление к миниатюризации элементов стало причиной резкого повышения интереса к средствам приборно-технологического моделирования как инструмента, позволяющего разрабатывать и оптимизировать технологический процесс и конструкцию приборов с минимальным количеством эмпирических исследований, приводящим к экономии времени и денежных средств. А учитывая тот факт, что экспериментальные методы при исследовании структур порядка нескольких нанометров не дают высокой точности результата, необходимой для надежного прогнозирования приборных характеристик, данный подход является наиболее оптимальным. Значимость роли TCAD в мировой полупроводниковой промышленности также подтверждается прогнозом международной технологической дорожной карты для полупроводников (ITRS). Согласно данным ITRS, ожидаемая экономия временных и денежных издержек за счет использования средств TCAD в 2016 году составит 40% [1].

В основе средств приборно-технологического моделирования лежат физические принципы работы устройств. Моделирование полученной структуры происходит путем решения системы уравнений, описывающих физику процессов, происходящих в полупроводниках. Программные продукты TCAD предоставляют следующие возможности:

- 2D и 3D моделирование основных технологических процессов, используемых в полупроводниковой промышленности, таких как ионная имплантация, диффузия, окисление, травление, осаждение, литография и силицидирование;
- 2D и 3D моделирование приборов микро-и наноэлектроники - от субмикронных pHEMT транзисторов до высоковольтных полупроводниковых диодов и ключей, и получение их электрофизических характеристик в зависимости от изменения входных (технологических) параметров;

- расчет механических и термических напряжений в структуре.

Началом зарождения приборно-технологического моделирования считается 1978 год, когда в Стенфордском университете, США, впервые была разработана программа Suprem (Stanford University PRocess Emulator) для технологического моделирования. Одновременно с этим в университете начались разработки PISCES – программы для моделирования полупроводниковых приборов. Спустя некоторое время, программы для аналогичных целей (FLOOPS и FLOODS) разрабатываются в университете штата Флорида, а также в Швейцарии, где группа ученых во главе с профессором Фихтнером в Федеральном технологическом институте создают два программных аппарата для приборно-технологического моделирования: DIOS – (расчет диффузии, ионной имплантации и окисления) и DESSIS – (расчет приборов для современных интегральных систем) [2].

Благодаря открытому коду разрабатываемых университетских программ для моделирования, на их основе впоследствии появляются более мощные коммерческие разработки с большим многообразием функций и улучшенными характеристиками.

В настоящий момент существует множество бесплатных и коммерческих программных инструментов TCAD. При этом условно бесплатные программные средства, которые поставляются университетами и исследовательскими институтами, обычно обладают наиболее продвинутыми физическими моделями. В то время как коммерческие производители делают основной упор на проектирование САПР с удобным для пользователей графическим интерфейсом, ориентированным на выполняемые задачи, быстрыми алгоритмами расчетов, функциями проектирования структуры и топологии и тд.

Большое распространение получили программные средства для моделирования отдельных технологических операций, позволяющих с высокой точностью прогнозировать выходную структуру, распределение примесей, термические и механические процессы внутри прибора.

При моделировании процессов осаждения и травления применяется два основных подхода: метод продвижения струны и метод Монте-Карло. В первом случае они рассматриваются как процессы, контролируемые скоростью поверхностной реакции. На очередном шаге процесса моделирования каждая точка сдвигается на расстояние, которое определяется её текущей координатой, текущей структурой рельефа и совокупностью входных параметров. Результирующий профиль обработанной поверхности определяется положением первоначального профиля, который двигается через среду с учетом того, что скорость распространения в каждой точке является функцией локальных переменных. Метод Монте-Карло основан на получении большого числа реализаций стохастического процесса, формирующийся таким образом, чтобы его вероятностные характеристики совпадали с аналогичными величинами решаемой задачи. Для моделирования процессов травления и осаждения применяются такие программные продукты, как Sample, Depict, Profile, Simbad и другие.

Распределение примеси в структуре при ионной имплантации описывается аналитическими способами с применением распределений Гаусса, Пирсона, Бирсака; с использованием кинетического уравнения Больцмана, когда система представляет собой систему уравнений в частных производных, требующих много времени на решение. Кроме того, в данном случае также может применяться метод Монте-Карло, дающий наиболее точный результат.

Модели диффузии примеси и окисления основаны на понимании взаимодействия примеси с точечными дефектами, явлениями генерации и рекомбинации дефектов на межфазной границе

полупроводник-окисел, зарядового состояния окисла вблизи этой границы [3]. Примером программного продукта для моделирования процессов ионной имплантации, диффузии и окисления является DIOS.

Особое значение представляют САПР для технологического моделирования литографических процессов, поскольку именно литографическое оборудование стало ключевым с точки зрения получения минимальных размеров элементов СБИС.

Моделирование данного процесса обычно состоит из следующих этапов.

- Расчет распределения интенсивности излучения на поверхности резистивной пленки.
- Моделирование экспонирования с учетом сведений о распространении света, оптических явлениях в пленке, а также о входящем в состав резиста фотоактивном компоненте и его поведении при воздействии актиничного света. Результатом данного этапа является скрытое изображение в резисте.
- Моделирование проявления как изотропного процесса травления, в котором скорости травления по различным направлениям определяются скрытым изображением, рассчитанным на предыдущем шаге.

В настоящее время разработаны и применяются около десяти различных имитационных программных инструментов процесса фотолитографии и моделей проявления резиста. К наиболее известным можно отнести такие продукты, как Lythogra, Metropole, Prolith, Depict, Sample, Solid-C и другие, среди которых Metropole, Sample и Solid являются университетскими программами, на исходных кодах которых было создано другое программное обеспечение для моделирования литографии [4].

Как и в других областях, в сфере приборно-технологического моделирования наблюдается тенденция к монополизации рынка. Таким образом, компанией Synopsys были скуплены программные продукты TMA, Sigma-C и ISE TCAD, что позволило ей стать одной из крупнейших на сегодняшний день компаний по разработке ПО для моделирования [5]. Основным конкурентом и вторым мировым лидером в этой области является американская компания Silvaco [6]. Данными компаниями были разработаны мощные и многофункциональные программные комплексы, позволяющие проводить моделирование не только отдельных приборов или операций технологического процесса, но и целых технологических цепочек, объединяя последние в технологические маршруты виртуальной фабрики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт ITRS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.itrs.net>. – 07.03.2016.
2. TCAD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://obmendoc.ru/files/users/andrey/84/view/300393-304364> – 07.03.2016.
3. Королев М. А., Крупкина Т. Ю., Ревелева М. А./ Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем. Ч. 1. – М.: Бином, 2012. – 397 с.
4. Макачук В.В., Родионов И.А., Цветков Ю.Б./ Конспект лекций по курсу «Методы литографии в инженерии» - М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. – 84 с.
5. Официальный сайт Synopsys [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.synopsys.com>. – 08.03.2016.
6. Официальный сайт Silvaco [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.silvaco.com> – 08.03.2016.

**ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ
ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

А.А. Мещеряков

Научный руководитель: доцент, к.т.н. В.С. Горбатов
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Россия, г. Москва, Каширское ш., 31, 115409
E-mail: aameshcheryakov@mephi.ru

**DEVELOPMENT OF THE AUTOMATION SYSTEM FOR TESTING OF INFORMATION
SECURITY TOOLS**

A.A. Meshcheryakov

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. V.S. Gorbatov
National research nuclear university "MEPhI",
Russia, Moscow, Kashirskoe shosse, 31, 115409
E-mail: aameshcheryakov@mephi.ru

***Abstract.** The article tells about the development of the test automation system of information security tools. The system is based on the formalization of the compliance of information security assessment methodologies. To run the information security tools and test scripts used virtualization technology. Test scripts to emulate user actions to perform functional testing. The developed system allows companies to provide developers with a service for checking compliance of their software requirements.*

В условиях конкуренции на российском рынке средств защиты информации (СЗИ) важным преимуществом является получение оценки соответствия СЗИ различным требованиям. В соответствии с действующими требованиями законодательства обязательная оценка соответствия СЗИ проводится в форме сертификационных испытаний [1]. Так как процедура сертификации СЗИ является достаточно дорогостоящей и долговременной, разработчики стремятся максимально снизить риски получения отказа в выдаче сертификата. Для этого проверка соответствия требованиям внедряется в процесс тестирования. С другой стороны, разработчики стремятся оптимизировать как временные, так и ресурсные затраты на разработку СЗИ. Для этой цели многими компаниями-разработчиками широко применяется аутсорсинг тестирования программного обеспечения.

Таким образом, разработчики СЗИ заинтересованы использовать сторонние средства тестирования, так как это даёт возможность работы с уже развернутыми, настраиваемыми и масштабируемыми решениями. Такая модель проведения испытаний позволяет разработчику существенно снизить затраты на инфраструктуру тестирования, а также снизить риски, связанные с безопасностью и надежностью собственных разработок.

Основной целью проведения испытаний является повышение вероятности того, что СЗИ при любых обстоятельствах будет функционировать надлежащим образом и соответствовать требованиям,

установленным методикой проведения испытаний. Автоматизация процесса тестирования позволяет добиться повышения эффективности испытания, а также снижения временных и ресурсных затрат.

Автоматизация процесса тестирования позволяет получить повторяемость тестовых сценариев, быстрое их выполнение и меньшие затраты на анализ результатов тестирования [2].

Формализация методик оценки соответствия СЗИ, описанная в [3], позволяет использовать стандартных подход к проведению испытаний для тестирования различных приложений. Такая стандартизация позволяет упростить автоматизацию тестовых испытаний различных классов СЗИ.

Для построения тестовых процедур используется подход, описанный в [4]. Данный подход позволяет имитировать действий пользователя, что позволяет провести полный набор тестовых процедур испытаний.

На рисунке 1 показана схема разрабатываемой системы. На первом этапе пользователь загружает СЗИ и выбирает методику проведения испытаний. Затем настраивается среда проведения испытаний: выбирается тип СЗИ, вариант размещения его в среде виртуализации, уточняются наборы требований к СЗИ и тестовых процедур. Далее система загружает СЗИ в тестовую среду и выполняет тестовые испытания. В процессе работы пользователь получает полную информацию о выполнении процедур тестирования. По результатам выполнения испытаний система генерирует отчёт, содержащий подробную информации о прохождении тестирования.

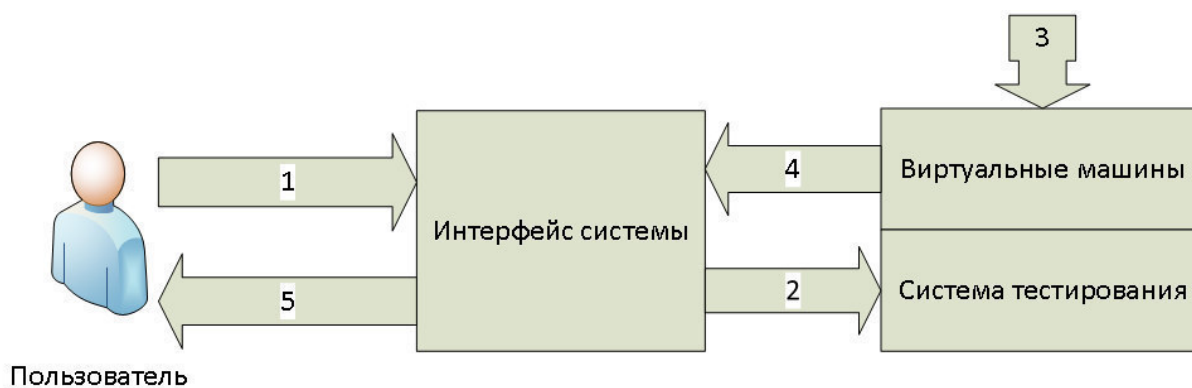


Рис. 1. Общая схема системы. 1 – Выбор методики испытаний и загрузка СЗИ; 2 – настройка среды тестирования; 3 – проведение тестовых испытаний; 4 – передача информации о результатах тестирования; 5 – вывод информации о результатах пользователю

Для автоматизации создания и конфигурации виртуальных машин используется инструмент контейнерной виртуализации vagrant. Vagrant позволяет создать образцы виртуальных машин, из которых на этапе тестирования будут разворачиваться уже настроенные виртуальные машины. При этом открываются широкие возможности для настройки образцов, что позволяет предусмотреть различные сценарии тестирования СЗИ. Таким образом, после настройки системы тестирования в среде виртуализации создаётся набор виртуальных машин, на которых разворачиваются СЗИ и тестовые сценарии.

Тестовые сценарии автоматизируют проверку требований при оценке соответствия СЗИ. Среда выполнения тестовых сценариев может быть развернута не только на виртуальных машинах, но и на основной системе. Взаимодействие с тестовой средой осуществляется через интерфейс прикладного

программирования (API) системы виртуализации. Варианты выполнения тестовых сценариев представлены на рисунке 2.

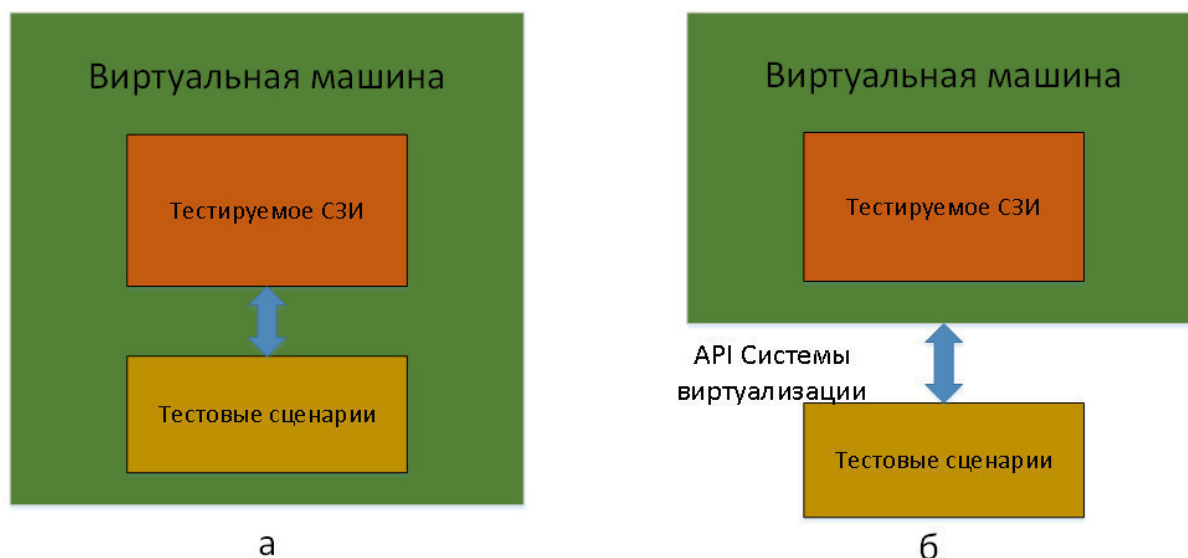


Рис. 2. Варианты взаимодействия тестовых сценариев и тестируемого СЗИ: а) тестируемое СЗИ и тестовые сценарии разворачиваются в рамках одной виртуальной машины; б) тестовые сценарии выполняются вне виртуальной машины, взаимодействуя через API-интерфейс

Таким образом, представленная система автоматизации испытаний СЗИ позволяет компаниям-разработчикам контролировать соответствие разрабатываемых продуктов сертификационным требованиям.

В качестве дальнейшего развития системы автоматизации испытаний СЗИ предполагается совершенствование и доработка общих методик оценки соответствия СЗИ требованиям действующих нормативных документов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленко Ю.И. Правовой режим лицензирования и сертификация в сфере информационной безопасности: Учебное пособие. – М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 140 с.
2. Борисова Т.М., Кузнецов А.В., Обломова А.И. Тестирование средств защиты информации // Информационная безопасность. Материалы ХIII Международной конференции. – Таганрог, 2013. – Ч. 1. – С. 121-129.
3. Марков А.С., Цирлов В.Л., Барабанов А.В. Методы оценки несоответствия средств защиты информации. – М.: Радио и связь, 2012. – 192 с.
4. Горбатов В.С., Кондратьева Т.А., Мещеряков А.А. Автоматизированное тестирование программно-аппаратных средств защиты информации в виртуализированной среде // Безопасность информационных технологий. – 2015. – №2. – С. 13-15.

**РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ТИПОВОГО ЭЛЕМЕНТА МОДЕЛИ УЧЕБНОГО
ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ**

А.А. Мытник, А.П. Клишин, Н.Л. Еремина

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор Л.В. Горчаков

Томский государственный педагогический университет,

Россия, г. Томск, ул. Киевская, 60, 634061

E-mail: MytnikAA@gmail.com

**DEVELOPMENT AND REALIZATION OF THE TYPICAL ELEMENT OF AN ACADEMIC
DEPARTMENT'S MODEL**

AA. Mytnik, A.P. Klishin, N.L. Eremina

Scientific Supervisor: Prof., Dr. L.V. Gorchakov

Tomsk State Pedagogical University, Russia, Tomsk, Kievskaya str., 60, 634061

E-mail: MytnikAA@gmail.com

***Abstract.** This paper considers the aspects of creating the typical model of business processes of an academic department. Applying the ARIS methodology allowed us to raise the efficiency of educational process management due to domain modelling when projecting components of the information system. Using the eEPC notation, the reference model intended for modelling the control of students' academic progress during the examination periods has been constructed. On the basis of the analysis of application of business processes in the field of automation of management systems in higher education, the typical element of the object-oriented model of an academic department has been developed.*

Современные вузы являются сложными по структуре и управлению организациями, которые с точки зрения внедрения информационных технологий, имеют ряд технических и организационных проблем [1]. Несмотря на имеющееся в современной теории и практике менеджмента многообразие подходов к управлению, та или иная концепция управления не всегда может быть напрямую применена учреждением высшего образования. Причина этого кроется в том, что степень самостоятельности принятия решений у ВУЗа ограничена в связи с множеством нормативных актов и управляющих документов, что сужает, но не отменяет полностью возможность применения подходов, требующих проводить изменения в системе управления. Тем не менее, в данной ситуации можно применять и проективный подход [2], и прикладной системный анализ [3], и реинжиниринг бизнес-процессов.

В настоящее время имеющиеся типовые решения по управлению бизнес-процессами в основном были разработаны для коммерческих предприятий. Несмотря на заметные различия в системах управления и менеджмента по сравнению с коммерческими предприятиями, учреждения высшего образования имеют с ними много общего с точки зрения эффективности принимаемых управленческих решений и способов формирования ключевых показателей эффективности деятельности. Опыт создания типовых моделей, которые хорошо себя зарекомендовали с точки зрения эффективного использования при управлении различными технологическими процессами, можно применить для отрасли образования,

группа) были определены на предыдущих этапах проектирования. Функции диаграммы (формирование информации о сдаче зачетов, сбор показателей успеваемости, продвижение по образовательной траектории), указанные на рис. 2, реализованы в классе SessionService. Бизнес-логика класса SessionService реализует проверку условий соблюдения сроков сессии и передачи задолженностей отдельными студентами по определенному предмету и запрещает изменять полученные данные произвольным образом.

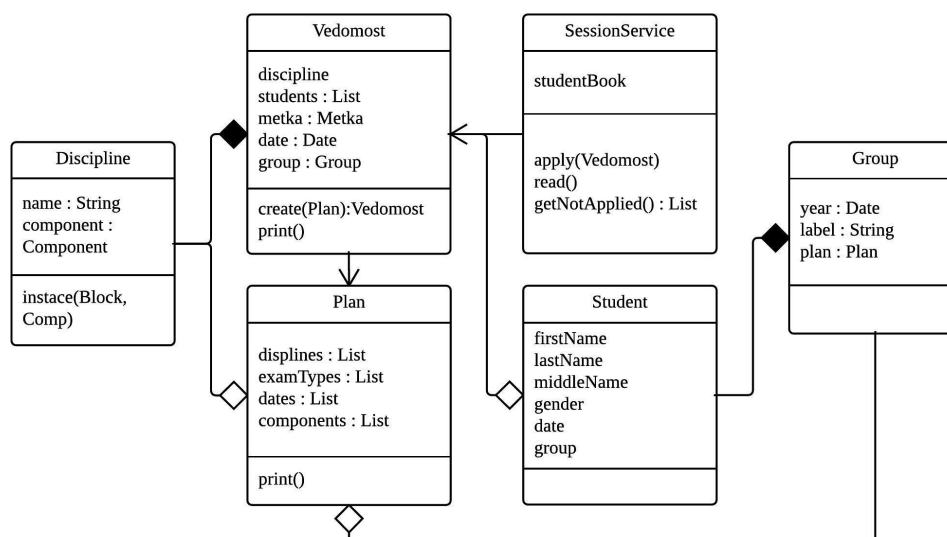


Рис. 2. Диаграмма программной реализации сервиса «формирование показателей успеваемости»

Известно, что модель, представленная в виде нотации eEPC, не может быть напрямую преобразована в программное приложение в инструментальной системе ARIS, так как для этого необходимо преобразовать модель в диаграмму UML с использованием стандартных средств ARIS. Поэтому все дальнейшие необходимые преобразования были выполнены с использованием стандартных средств CASE-технологий (Oracle JDeveloper).

Таким образом, в рамках данного этапа был создан проект модуля рассматриваемого сервиса, отвечающий за выполнение работ по сбору показателей успеваемости с помощью языка моделирования UML (рис. 2). Представленная модель классов была реализована в типовом элементе с применением стандартных CASE-средств и технологий Java, а затем интегрирована в информационную систему E-Decanat 2.0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные направления информатизации деятельности ТГПУ / А.П. Клишин, А.Н. Стась, Т.Т. Газизов, В.А. Горюнов, А.В. Кианицын, А.Н. Бутаков, А.А. Мытник // Вестник ТГПУ. – 2015. Вып. 3(156). – С. 110–118.
2. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ: Наука и искусство решения проблем. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. – 186 с.
3. Динамические модели бизнес-процессов. Теория и практика реинжиниринга / Ю.П. Ехлаков, В.Ф. Тарасенко, О.И. Жуковский, П.В. Сенченко, Ю.Б. Гриценко. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2014. – 203 с.

ОПТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕТОДИОДНОЙ ЛАМПЫ

Ю.В. Ряполова, К.А. Неверовский, Е.О. Постолова

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: yuliya.ryapolova@mail.ru

OPTICAL SIMULATION OF LED LAMPS

Y.V. Ryapolova, K.A. Neverovsky, E.O. Postolova

Scientific Supervisor: Docent, V.S. Soldatkin

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

E-mail: yuliya.ryapolova@mail.ru

Abstract. *The results of the modeling light characteristics of the lamp based on light-emitting diode emitting elements of the belt type. Are three options for placement of LED crystals on a metal substrate. It was found that the location of LED crystals on the same line and at the location of the LED crystals in a checkerboard pattern at a certain distance, there is a uniform distribution of radiation in space.*

Проблема повышения эффективности использования электрической энергии для целей освещения является актуальной [1, 2]. На данный момент наиболее перспективными источниками света являются лампы на основе светодиодных излучающих элементов ленточного типа (СИЭ). Такие лампы имеют сферическое светораспределение (КСС), однако вопросы моделирования световых характеристик решены не окончательно.

Целью данной работы является моделирование световых характеристик лампы на основе светодиодных излучающих элементов ленточного типа.

Моделирование СИЭ. При проектировании СИЭ необходимо решить два вопроса: обеспечить высокую световую эффективность - провести световое моделирование для выбора оптимального по критерию равномерности светораспределения лапы расположения кристаллов СИЭ.

В данной работе было проведено моделирование конструкции СИЭ с помощью программного продукта LightTools. На рис. 1 представлены три варианта размещения светодиодных кристаллов на металлической подложке.

Световой поток одной линейки равен 100,8 лм. В программе LightTools светодиодные кристаллы заданы светящимися телами со световым потоком 3,6 лм каждый. На одной подложке находится 28 кристаллов.

Подложка в программе была создана в форме прямоугольника, а также для нее были заданы отражающие свойства, присущие металлам.

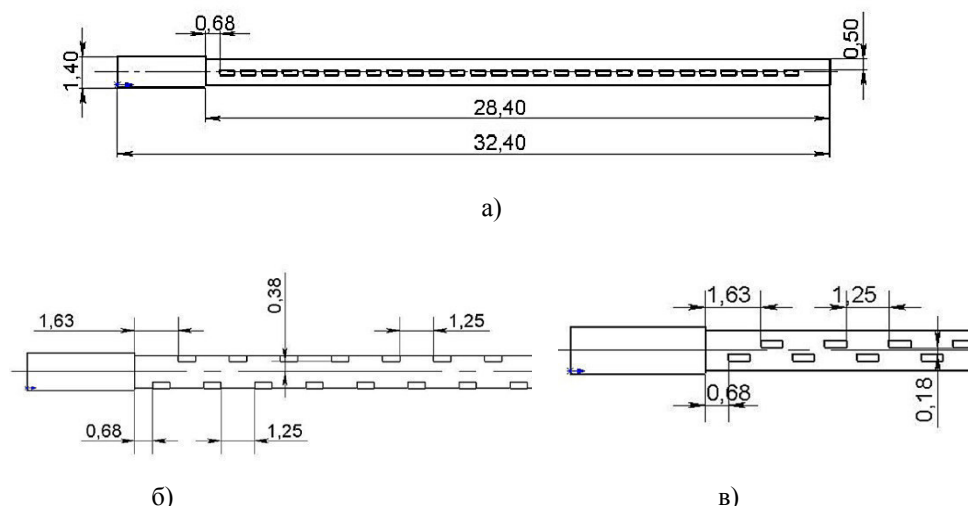


Рис. 1. Внешний вид и габаритные размеры светодиодных излучающих элементов:

а) при расположении светодиодных кристаллов на одной прямой; б) при расположении светодиодных кристаллов в шахматном порядке, на краях подложки; в) при расположении светодиодных кристаллов в шахматном порядке на расстоянии от края подложки

Программными средствами было рассчитано распределение силы света от СИЭ. На рис. 2 приведен график распределения силы света для трех вариантов расположения светодиодных кристаллов, соответствующих рис.1. Расчет проведен для плоскости, параллельной осевой линии подложки в ее геометрическом центре.

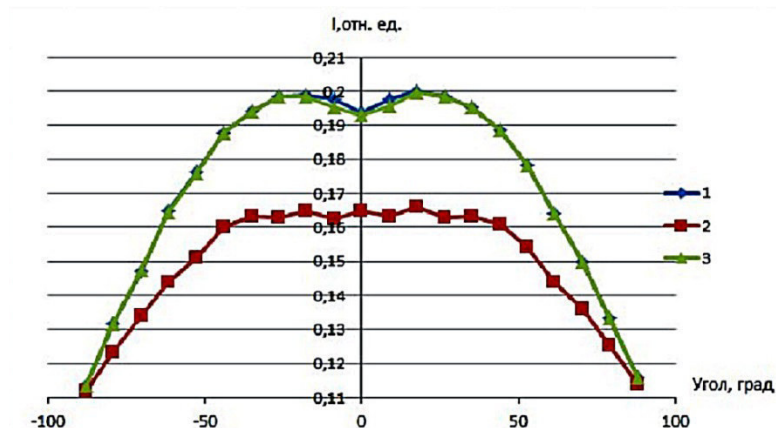


Рис. 2. КСС для трех вариантов расположения светодиодных кристаллов на металлической подложке: №1 при расположении светодиодных кристаллов на одной прямой; №2 при расположении светодиодных кристаллов в шахматном порядке, на краях подложки; №3 при расположении светодиодных кристаллов в шахматном порядке на расстоянии от края подложки

Из графика видно, №1 и №3 обладают наибольшим значением светового потока и распределением излучения в пространстве, что и формирует практически идентичные КСС. Вариант под №2 имеет меньшее значение светового потока, что связано с тем, что поток при таком построении менее концентрированный, не ограничен по краям металлической подложкой.

Исследование светодиодной лампы. Цель эксперимента: сконструировать лампу на основе светодиодных нитей таким образом, чтобы добиться равномерного распределения светового потока. Поставленная задача осуществлялась изменением угла наклона источников света. СИЭ в нижней части опорной конструкции припаивались в одном положении, а в верхней части припаивались к разным точкам контакта (рис.3).

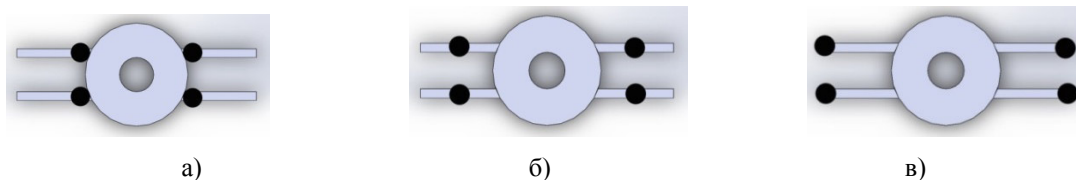


Рис. 3. Расположение припоя в верхней части опорной конструкции: а) положение 1: в начале контакта; б) положение 2: посередине контакта; в) положение 3: на конце контакта

Был собран опытный образец, состоящий из четырех СИЭ, опорной конструкции и колбы.

На рис. 4 представлены графики распределения силы света опытного образца светодиодной лампы в меридианальной плоскости, полученные путем измерения на гониофотометре.

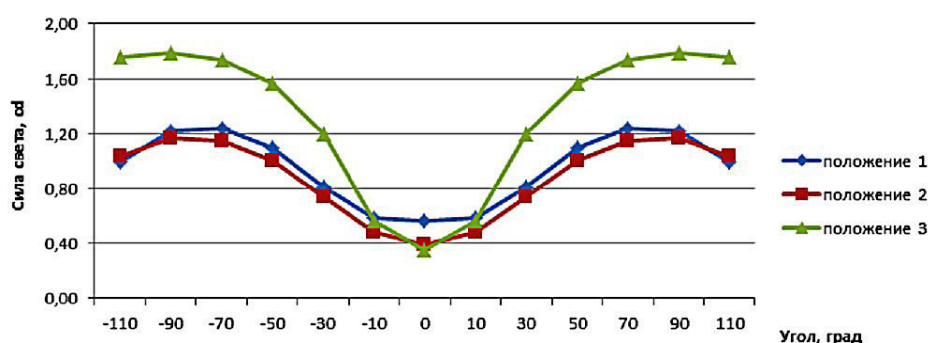


Рис. 4. Графики распределения силы света светодиодной лампы, измеренной на гониофотометре

Из графика видно, что первое положение СИЭ, в которых светодиоды расположены по одной прямой, позволяет добиться наиболее равномерного распределения света.

По результатам проделанной работы видно, что, чтобы добиться наиболее равномерного распределения света, нужно расположить СИЭ в положение 2.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки в рамках прикладных научных исследований RFMEFI57714X0061 и проекта ГПО РЭТЭМ-1501.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солдаткин В.С., Ряполова Ю.В., Афонин К.Н., Олисовец А.Ю., Туев В.И. Анализ срока службы светодиодных излучающих элементов // Доклады ТУСУРа. – 2015. – №3. – С. 55 - 61.
2. Гончарова Ю.С. Ускоренные испытания полупроводниковых источников света на долговечность // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 2 (28). – С. 51.-53.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

А.К. Новохрестов, 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

E-mail: nakl@keva.tusur.ru

MATHEMATICAL MODEL OF THREATS TO INFORMATION SYSTEMS

A.K. Novokhrestov, A.A. Konev

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

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,

Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: nakl@keva.tusur.ru

Abstract. *The existence of the need to assess the quality of security requires the development of a formalized evaluation method. One of the elements of such method is the model of threats to information system. In the article is described a model of threats to integrity of information system. As a model of system used a multilevel model based on attributive metagraphs.*

В настоящее время существует необходимость оценки качества как существующих, так и разрабатываемых систем защиты. Под качеством защищенности системы от угроз информационной безопасности подразумевается показатель возможности средств защиты информации нейтрализовать угрозы информационной системе и обрабатываемой в ней информации. Проблема заключается в том, что формализованная методика для объективной оценки качества защищенности информационных систем отсутствует, и результат оценки во многом зависит от субъективного мнения и профессионального уровня эксперта [1].

При создании формализованной методики оценки качества защищенности информационных систем необходимо опираться на несколько моделей [2, 3]:

- модель информационной системы;
- модель системы защиты информационной системы;
- модель угроз информации, информационной системе и средствам защиты информации.

В настоящей статье рассматривается модель угроз целостности компьютерной сети.

В качестве модели системы используется многоуровневая модель, построенная с помощью атрибутивного метаграфа вложенности 3. Взаимодействие между объектами в модели информационной системы происходит по правилам взаимодействия объектов в эталонной модели OSI. Данный подход описан в [4].

Предлагаемая модель угроз является развитием подхода, описанного в [3]. Типом атаки для каждого множества атрибутов вершин является изменение параметров связи (атрибутов вершин).

Типы атак для каждого множества вершин:

1. подмена элемента (вершины);
2. удаление элемента (вершины);
3. добавление элемента (вершины).

Типы атак для каждого множества ребер:

1. подмена связи (ребра);
2. удаление связи (ребра);
3. добавление связи (ребра).

Практически любая информационная система состоит из локальной сети, рабочей станции и программного обеспечения. В локальной сети основными элементами, которые представляют для злоумышленника интерес, являются рабочие станции, с установленным на них операционными системами, программное обеспечение входящее в соответствующие операционные системы и протоколы по которым они взаимодействуют. На рабочей станции основными элементами выступают операционная система, программное обеспечение, установленное в пределах соответствующей операционной системы и API-функции, обеспечивающие взаимодействие между программным обеспечением в соответствующей операционной системе.

Угрозы для множеств вершин, атрибутов вершин и ребер представлены в таблице 1.

Таблица 1

Угрозы целостности информационной системы

Множество	Угрозы
X_3 (множество ЛВС)	1. подмена ЛВС 2. удаление ЛВС 3. добавление ЛВС
X_2 (множество ОС)	1. подмена ОС 2. удаление ОС 3. добавление ОС
X_1 (множество ПО)	1. подмена ПО 2. удаление ПО 3. добавление ПО
$\{atr_a\} \in x_3^m$ (множество атрибутов ЛВС)	Изменение таблицы маршрутизации или IP-адреса сети
$\{atr_a\} \in x_2^l$ (множество атрибутов ОС)	Изменение IP-адреса, который использует ОС
$\{atr_a\} \in x_1^k$ (множество атрибутов ПО)	Изменение номера порта, который использует ПО
E_3 (множество связей между ЛВС)	1. подмена протокола, работающего на уровне ЛВС 2. удаление протокола, работающего на уровне ЛВС 3. добавление протокола, работающего на уровне ЛВС
E_2 (множество связей между ОС)	1. подмена протокола, работающего на уровне ОС 2. удаление протокола, работающего на уровне ОС 3. добавление протокола, работающего на уровне ОС
E_1 (множество связей между ПО)	1. подмена протокола, работающего на уровне ПО или API-функции 2. удаление протокола, работающего на уровне ПО или API-функции 3. добавление протокола, работающего на уровне ПО или API-функции

В качестве примера рассмотрим некоторые угрозы на уровне операционных систем. Угроза подмены ОС характеризуется на графе G удалением вершины x_2^l из множества X_2 и добавлением в него новой вершины x_2^{r+1} , где r – количество вершин множества X_2 :

$$G' = (X_1, X_2 \setminus x_2^l, X_3, E_1, E_2, E_3),$$

$$G'' = (X_1, X_2 \cup x_2^{r+1}, X_3, E_1, E_2, E_3).$$

Угроза выведения из строя ОС характеризуется на графе G удалением вершины x_2^l из множества X_2 :

$$G' = (X_1, X_2 \setminus x_2^l, X_3, E_1, E_2, E_3).$$

Угроза добавления ОС характеризуется на графе G добавлением во множество X_2 и новой вершины x_2^{r+1} , где r – количество вершин множества X_2 :

$$G' = (X_1, X_2 \cup x_2^{r+1}, X_3, E_1, E_2, E_3).$$

Угроза подмены протокола, работающего на уровне ОС, реализуется на транспортном уровне OSI и характеризуется на графе G удалением ребра e_2^o из множества E_2 и добавлением в него нового ребра e_2^{u+1} , где u – количество ребер множества E_2 :

$$G' = (X_1, X_2, X_3, E_1, E_2 \setminus e_2^o, E_3),$$

$$G'' = (X_1, X_2, X_3, E_1, E_2 \setminus e_2^{u+1}, E_3).$$

Угроза изменения ip-адреса, который использует ОС характеризуется на графе G изменением у вершины x_2^l атрибута atr_a , содержащего данный адрес:

$$atr_a := atr_a'.$$

В ходе работы была предложена модель угроз целостности информационной системы для построенной модели информационной системы на основе атрибутивного метаграфа вложенности 3. Данная модель угроз включает в себя угрозы на уровне ПО, угрозы на уровне ОС и угрозы на уровне ЛВС.

Описанная модель используется как часть методики оценки качества защищенности компьютерных сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новохрестов А.К., Конев А.А. Оценка качества защищенности компьютерных сетей // Динамика систем, механизмов и машин: Материалы XI Международной научно-технической конференции. – Омск, 2014. – № 4. – С. 85–87.
2. Конев А.А., Давыдова Е.М. Подход к описанию структуры системы защиты информации // Доклады ТУСУР. – 2013. – № 2(28). – С. 107–111.
3. Конев А.А., Подход к построению модели угроз защищаемой информации // Доклады ТУСУР. – 2012. – Т. 1. – № 2. – С. 34–39.
4. Новохрестов А.К., Конев А.А. Многоуровневая модель информационной системы на основе атрибутивных метаграфов // Электронные средства и системы управления: Сборник трудов XI Международной научно-практической конференции. – Томск, 2015. – № 1-2. – С. 184–188.

**РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ¹**

С.А. Панов, Т.Е. Григорьева, С.К. Важенин

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Т.В. Ганджа

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: spytech3000@gmail.com

DEVELOPMENT OF SUPPORT SYSTEM OF AUTOMATED EXPERIMENTS

S.A. Panov, T.E. Grigorieva, S.K. Vazhenin

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD T.V. Gandzha

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

E-mail: spytech3000@gmail.com

Abstract. *This article raises the problem of the support of automated experiments. It describes the tasks and functions of support system of automated experiments (SSAE). Shows structural-functional diagram of SSAE. Considered its units (blocks) and the relationship between them.*

Одной из задач, решаемых в ходе компьютерного моделирования технических объектов (ТО), является решение проблемы повышения адекватности компьютерных моделей (КМ). Для того, чтобы КМ ТО была адекватной реальному ТО, необходимо выполнить её параметризацию таким образом, чтобы КМ имели необходимое решение, совпадающее с результатами измерения соответствующих характеристик реального ТО. На этом этапе могут применяться средства для работы с базами данных (БД), позволяющие выбрать наилучший вариант структуры и параметров ТО.

Результаты, получаемые в ходе моделирования ТО в системе компьютерного моделирования (СКМ), могут быть сохранены с целью их дальнейшего использования и оформлены в виде отчетной документации. Формирование технических документов и занесение в них информации вручную (без использования специализированных программных средств) сопряжено с целым рядом существенных трудностей. Как правило, такие документы имеют статическую природу и отсутствует возможность автоматического обновления их содержания при поступлении новых результатов.

Среди существующих СКМ особо выделяется СКМ МАРС (Моделирование и Автоматический Расчет Систем), которая позволяет выполнять компьютерное моделирование физически неоднородных ТО с информационными, энергетическими и неоднородными векторными связями [1]. Она основана на методе компонентных цепей (МКЦ), позволяющем представить модель ТО в виде компонентной цепи и произвести ее анализ в статическом или динамическом режиме.

В настоящее время на базе СКМ МАРС разрабатывается система поддержки автоматизированных экспериментов (СПАЭ). Ее основными задачами и функциями являются: автоматическая параметризация

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-37-00027 «Разработка программных средств автоматической параметризации компьютерных моделей эколого-экономических систем предприятий нефтегазовой промышленности»

КМ ТО; циклическое архивирование параметров ТО; анализ модели и численная обработка его результатов; оценка погрешностей проведённых вычислительных экспериментов (посредством графоаналитических оценок); протоколирование действий исследователя, выполняемых в СКМ МАРС; автоматизированное формирование и своевременное обновление технических документов, включающих результаты моделирования ТО.

В соответствии с функциональными задачами автоматизированных экспериментов, выполняемых в СКМ МАРС, была сформирована структурно-функциональная схема СПАЭ, содержащая следующие модули и блоки (рис. 1):

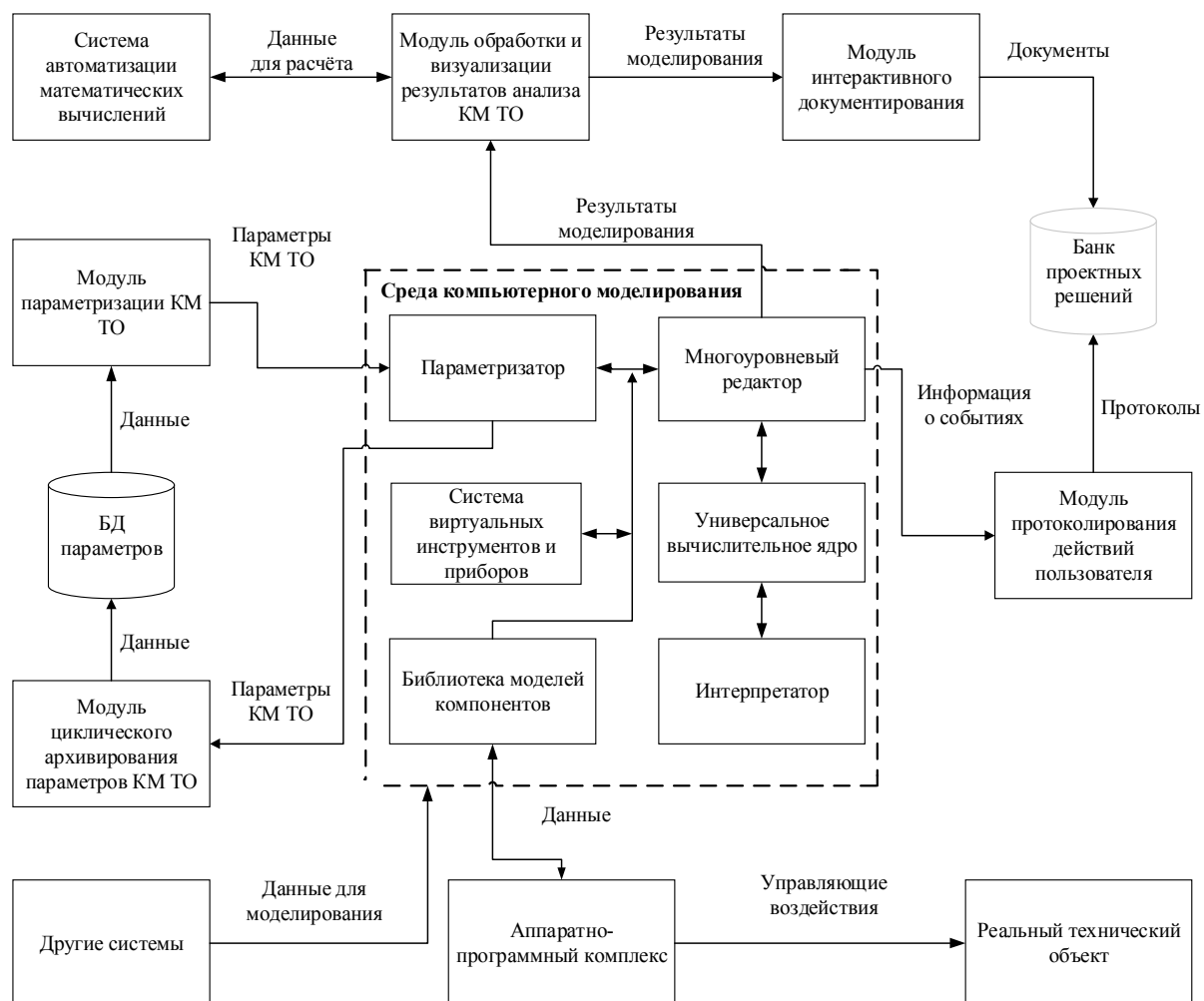


Рис. 1. Структурно-функциональная схема СПАЭ

- 1) **Модуль циклического архивирования параметров КМ ТО** автоматически сохраняет в БД текущие значения параметров КМ ТО.
- 2) **Модуль параметризации КМ ТО** выполняет соединение с БД, извлекает из неё нужные значения параметров и использует эти параметры в процессе параметризации КМ ТО.
- 3) **БД параметров** используется для хранения данных, используемых в процессе моделирования ТО.

4) *Модуль обработки и визуализации результатов анализа КМ ТО* необходим для численной обработки первичных результатов автоматизированных экспериментов и их отображения в виде числовых значений, графиков, таблиц и другой форме.

5) *Система автоматизации математических вычислений (САМВ)* применяется непосредственно для параметризации КМ ТО и математической обработки результатов ее анализа. В качестве САМВ выбран «Макрокалькулятор», так как он обладает широкими функциональными возможностями и удобным графическим интерфейсом.

6) *Модуль интерактивного документирования* служит для формирования интерактивных отчётных форм, отражающих результаты моделирования ТО [2].

7) *Модуль протоколирования действий пользователя* автоматически сохраняет в журнал все выполняемые в СКМ МАРС действия (создание модели, изменение параметров и т.д.), чтобы в любой момент времени можно было вернуться к тому или иному шагу. Сформированный журнал (лог, протокол) может быть сохранён в виде электронного документа.

8) *Банк проектных решений*, являясь специализированной базой данных, обеспечивает систематизацию сведений об объектах моделирования (схемы, параметры, режимы) и автоматизированный выбор аналога [3].

9) *СКМ МАРС* используется непосредственно для построения и анализа КМ ТО [1].

10) *Аппаратно-программный комплекс*, с помощью которого осуществляется сопряжение реального ТО с СКМ МАРС.

11) *Реальный ТО*, в качестве которого могут выступать различные электронные, электромеханические, физические, физико-химические и другие системы.

12) *Другие системы, служащие источниками данных.*

В результате проведённого исследования был разработан алгоритм автоматизированного эксперимента, выполняемого в СКМ МАРС, и структурно-функциональная схема автоматизированной системы, позволяющей решать такие актуальные задачи, стоящие перед исследователями ТО, как анализ и синтез проектируемых ТО, а также отладка алгоритмов управления ТО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев В.М., Шутенков А.В., Зайченко Т.Н. и др. Среда моделирования МАРС. – Томск: В-Спектр, 2009. – 299 с.
2. Ганджа Т.В., Панов С.А. Задачи и архитектура подсистемы документирования исследований в среде многоуровневого моделирования МАРС // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – № 2(24), часть 2. – С. 334-338.
3. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Ганджа В.В., Панов С.А. Структура и функции автоматизированной системы управления проектами для центров научно-технического творчества студентов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – 2(26), часть 2. – С. 200-203.

NUCLEAR KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM

M.V. Permiova, D.G. Demjanjuk

Scientific Supervisor: Dr. D.G. Demjanjuk

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

E-mail: masha199303@gmail.com

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫМИ ЗНАНИЯМИ

М.В. Перминова, Д.Г. Демянюк

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Д.Г. Демянюк

Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет,

Россия, Томск, ул. Ленина 30, 634050

E-mail: masha199303@gmail.com

***Аннотация.** На сегодняшний день, одной из актуальных проблем атомной промышленности является сохранение ядерных знаний. Одной из заинтересованных сторон в данной проблеме являются высшие учебные заведения. Управление ядерными знаниями в университетах имеет немаловажную роль. Данная работа описывает опыт применения системы управления ядерными знаниями, на примере Национального исследовательского Томского Политехнического Университета.*

The problem of knowledge loss is the issue of the present day in all types of industry. Special attention should be paid to nuclear industry. Nuclear energy technologies have a long life cycle, an obvious example is a nuclear power plant. Designing of a nuclear power plant takes at least ten years; its construction is also a long-term process, which needs the required knowledge and past experience. The next step is operation of nuclear power plant and the last one is shutdown. The whole process requires fixing the stored knowledge in the process of operation and in addition, it requires build-up and improvement of knowledge. For example, Fermi identified the concept of fast reactors development in 1944. In 1946, an experimental plutonium-fueled reactor was created (Climentina, USA). To date, over twenty experimental and development fast breeder reactors have been created, the first industrial prototypes of fast power reactors, cooled by liquid metal (sodium), are in operation: in Russia (BN-600), France (PHENIX). These facts required knowledge transfer to the next three generations of researchers. Countries, which had no knowledge transfer of fast neutrons reactors technologies and closed nuclear fuel cycle, lost this knowledge considerably. The losses of experience and knowledge are not just economic losses. It is full-on scientific and technology disaster causing losses of skilled workers, strong system of higher education, research and trial facilities, generation of young researchers. It may take decades for the government to recoup the losses.

Often, the knowledge and experience of past years have not been documented. A variety of factors, such as aging of employees, decline of technological skills and loss of know-how, potential reduction in the safety and feasibility of innovation potential disappearance can be the reasons for the loss of nuclear knowledge. With reference to the above subject matter, nuclear knowledge stakeholders such as governments, international

organizations, and industry have a vigorous activity in the development of knowledge management. It includes strategies and programs to collect, exchange, store and transfer information to new generation.

Incidentally, knowledge management is needed to be applied to academic institutions too. Knowledge management formation in National Research Tomsk Polytechnic lets provide us with an access to legacy of the past, present and future of nuclear industry.

The IAEA nuclear knowledge management activities assist in transferring and preserving knowledge, exchanging information, establishing and supporting cooperative networks, and training next generation of nuclear experts. These activities in assisting Member States in the preservation and enhancement of nuclear knowledge and in facilitating international collaboration have been recognized by the General Conference of the International Atomic Energy Agency. Much work has been done by the IAEA in addressing the knowledge management needs of different nuclear organizations [1].

Experience of other international organizations, not just in nuclear industry, shows there are no universal systems of knowledge management for any kind of organization. Every system has unique elements, tools and technologies. All knowledge systems are developed according to the purposes of a company, type of activity and specificity of company's knowledge. For the moment, the concept of knowledge management is integrated in developed global scale companies. This can be exemplified by Siemens AG, in which the information exchange system ShareNet29 started operating in Siemens Information and Communication network (ICN) in 1999 [2]. The next example is Skanska Group, which has IT-platform called Skanska Knowledge Network [3]. Skanska Knowledge Network helps corporate employee to find necessary information in in-house database. The example of application of nuclear knowledge management system is Canadian project CANTEACH [4]. This knowledge repository provides high quality technical documentation relating to the CANDU nuclear energy system. The CANTEACH Project aims to provide an information exchange network for people interested in the CANDU energy system. Contributors are industry experts, who hold valuable knowledge and experience in diverse aspects of CANDU technology and its applications, and unique expertise in the areas of science and technology, nuclear power design and construction, project management and development of engineering tools [4].

Consequently, one of the main points of successful usage of stored knowledge is systematization and management. Nuclear industry needs individual approach for integration of knowledge management system.

National Research Tomsk Polytechnic University (TPU) is one of the leading nuclear universities of Russia. Today TPU consists of twelve institutes, thirteen management units and has its own nuclear reactor. Also, the university is included in association of consortium of main academic institutions of Rosatom State Atomic Energy Corporation (Rosatom). Rosatom is integrating nuclear knowledge management system in all branches of company. TPU with such a complex organizational structure has the significant knowledge and information flow. This flow needs to be managed. The goal of the present work is to investigate the Rosatom's experience in creating nuclear knowledge management system and, as a result, integrate this system in the Institute of Physics and Technology (IPT). The introduction of the concept into the structure of the Institute will provide access to the existing legacy of nuclear expertise, ensure the transfer of knowledge to a new generation, and will fill the gaps emerged in connection with the loss of nuclear knowledge. Scientific and technical information portal of IPT has the form of library, which collects all scientific researches, projects, IPT employees and students' publications; in addition, it consists of work experience of last generations. All this information is available for both employees and students, thereby reducing the time for information search.

By means of a web-browser users connect to the portal and can perform the following actions: view information collections; add, edit and delete the items in information collections; perform a full-text, attributive search, and a search using the industry classifier or the thesaurus; create permanent thematic queries; use the "Calendar of scientific and technical activities".

Home page includes general information about this project, a news portal, and materials of knowledge management system with operating manual and history of the project. One can also find contact information, and technical support line, where users can seek the advice of the portal content administrators and technical experts on the issues related to the preparation of the documents and their posting on the Scientific and Technical Information portal. Portal includes nine information sections (fig. 1).

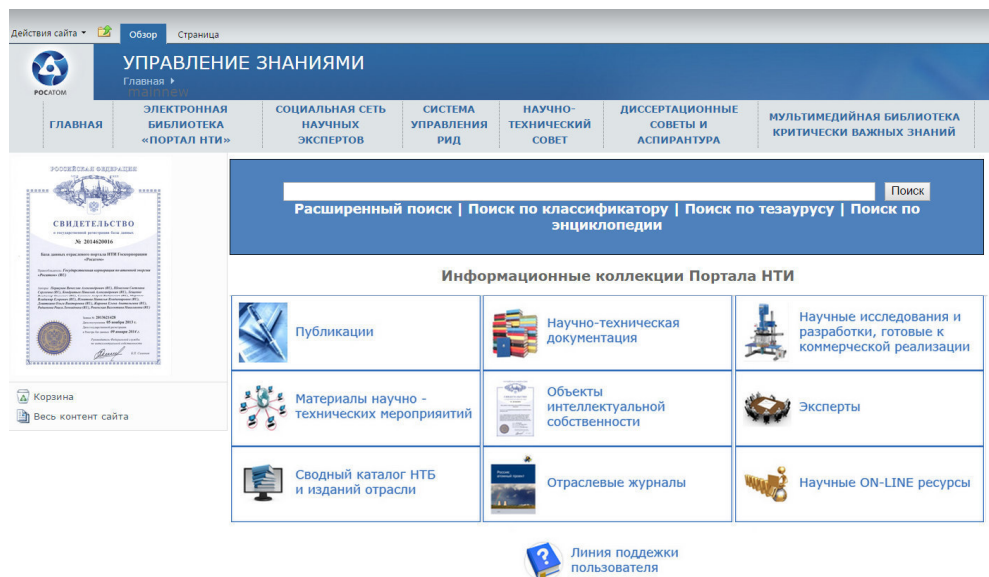


Fig. 1. Scientific and Technical Information portal of IPT

At the beginning of scientific work, a researcher spends eighty percent of time for solving old tasks and just twenty percent for searching innovative solutions. Thanks to the Scientific and Technical Information portal of IPT, this proportion can be changed exactly the opposite. Currently, TPU is integrating into knowledge management system of Rosatom. The process of developing IPT system is on the early stage. Digitisation of IPT stored knowledge, as well as filling-in of the library has already started. After successful application in IPT, it is planned to expand and integrate the system into all institutes of TPU.

REFERENCES

1. International Atomic Energy Agency. Knowledge Management for Nuclear Research and Development Organizations. – Vienna: IAEA, 2012. – 56 p.
2. Heier H., Borgman H.P., Manuth A. Siemens: Expanding the knowledge management system ShareNet to research & Development // Journal of Cases on Information Technology. – 2005. – V. 7. – No. 1. – P. 92–110.
3. Ericsson M., Reismer S. Knowledge Management in Construction: an approach for best practice diffusion in Skanska Sweden AB. – Sweden, Goteborg: Chalmers reproservice, 2011. – 96 p.
4. Garland B., Kosarenko Yu., Meneley D. Preserving CANDU Technical Knowledge. The CANTEACH Project // Bulletin Can. Nuc. Soc. – 2003.

ПЕРЕНОСНОЙ РЕЛЬСОВЫЙ ПРОФИЛОМЕТР

А.О.Плетнев, Ю.А. Чурсин, А.И. Гожимов

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: aopl066@gmail.com

RAIL PROFILE MEASUREMENT GAUGE

A.O. Pletnev, Y.A. Chursin, A.I. Gozhimov

Scientific Supervisor: docent, candidate of engineering sciences, associate professor Y.A. Chursin

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

E-mail: aopl066@gmail.com

Abstract. Control of the level of deterioration railways is one of the main tasks in the service of the railway transport. Currently, monitoring of the degree of deterioration is carried out using of obsolete equipment. The use of modern technology will greatly improve the quality of rail condition monitoring process. The principle of profilometer operation is based on measuring the distance to the rail at a known measurement angle. To measure the distance using laser triangulation sensor. Application profilometer does not require pretreatment of the rail to the measurement process. Obtained during the measurement profile will be displayed on the user's tablet, which will also be presented the results of calculation.

Введение. В процессе эксплуатации железнодорожных путей происходит износ рельсового полотна. В результате износа рельса уменьшается его площадь соприкосновения с колесом, в следствии чего повышаются экономические затраты на топливо, а более серьёзный износ может привести к аварии [1]. В настоящий момент для контроля за степенью износа рельсового полотна в РФ применяют шаблоны, путевые штангенциркули и скобы или оптические профилометры зарубежного производства. Учитывая необходимость в применении современных технологий и повышения эргономичности процесса измерения степени износа рельс, был разработан собственный профилометр.

Переносной рельсовый профилометр. Переносной рельсовый профилометр разработан для бесконтактной регистрации профиля головки рельса. Механизм сканирования профиля заключается в определении расстояния от датчика до рельса при фиксированном угле измерения (рисунок **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

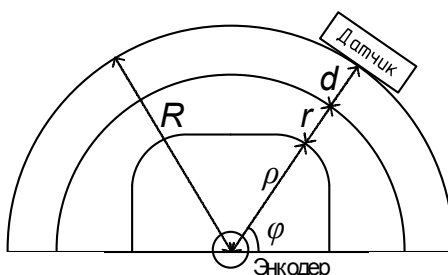


Рис. 1. Схема процесса измерения профиля рельса

Результатом измерения профиля является одномерный массив, который хранит в себе значения расстояния от точки начала диапазона измерения до рельса. Порядковый номер i каждой точки равен количеству срабатываний энкодера за путь от точки начала измерения до точки i . Учитывая то, что датчик расстояния движется вокруг рельса по дуге окружности, профиль рельса можно описать в полярных координатах массивом точек ρ и φ . Из рисунка 4 видно, что расстояние от центра окружности до профиля можно выразить по формуле $\rho = R - d - r$, а угол φ определяется по формуле $\varphi = i \cdot k_\varphi$. Коэффициент k_φ определяет количество радиан на один импульс энкодера.

В качестве датчика расстояния выступает триангуляционный лазерный датчик. Для разработанного профилометра реализована поддержка датчиков Riftek RF603 и Prizmasensors LS5. Точность измерения расстояния данными датчиками составляет $\pm 0,1\%$ от диапазона измерения. Для измерения профиля рельса применяются датчики с диапазоном в 25 мм, поэтому точность измерения расстояния датчиком составляет ± 25 мкм [2].

В качестве датчика определения угла используется инкрементальный оптический энкодер, подключенный к микроконтроллеру через D-триггер, что позволяет аппаратно определить направление вращения энкодера.

В разработанном переносном рельсовом профилометре можно выделить три основных модуля. Механический модуль (рисунок 3) представляет собой конструкцию, на которой закреплены оптический датчик и энкодер. Механический модуль крепится на рельс и обеспечивает возможность движения оптического датчика по дуге окружности вокруг головки рельса.

Модуль сбора и обработки данных является основным логическим модулем разрабатываемого устройства. Задача данного модуля заключается в управлении режимом работы лазерного датчика, получении, предварительной обработке и отправке данных измерения профиля на устройство верхнего уровня.

Так как использование полярных координат затрудняет дальнейшую обработку результатов измерения, необходимо перейти от полярных координат к декартовым по следующей формуле:

Для определения значения параметров смещения Δx и Δy , следует учитывать тот факт, что износ рельс производится в большей степени с внутренней стороны. Внешняя сторона остается неизношенной [3]. Исходя из этого, для определения сдвига по абсциссе и ординате необходимо совместить опорную точку измеренного профиля с соответствующей точкой эталонного профиля.

Угол поворота $\Delta\varphi$ определяется путем минимизации невязок на отрезке внешней стороны профиля.

Результат расчета профиля с учетом преобразования показан на рисунке 2.

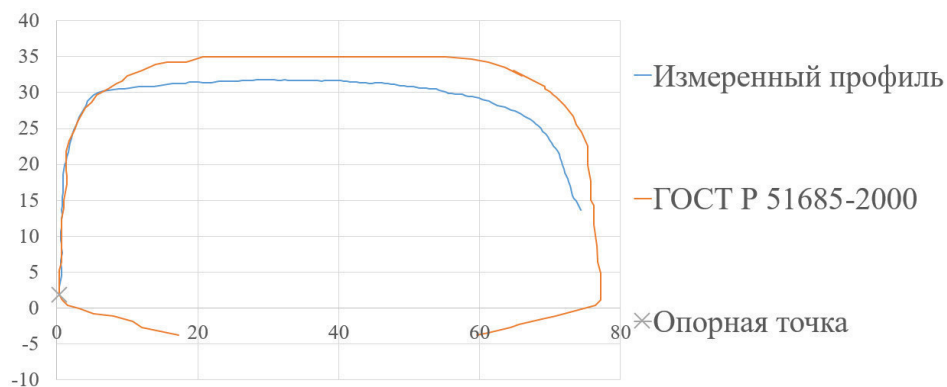


Рис. 2. Результаты измерения

Полученный в результате смещения профиль измеренного рельса позволяет нам производить анализ степени износа головки рельса.

После предварительной обработки результатов измерения на плате сбора данных, данные поступают на управляющее устройство. В качестве управляющего устройства может выступать планшет или смартфон на базе Android, IOS, Windows или ноутбук с Windows. Устройства должны поддерживать возможность подключения по Wi-Fi.

В настоящий момент разработано ПО для устройств на базе Android OS. Интерфейс программы изображен на рисунке 3. Данное приложение позволяет выводить на экран и сравнивать измеренные профили, производить расчет параметров износа рельса.

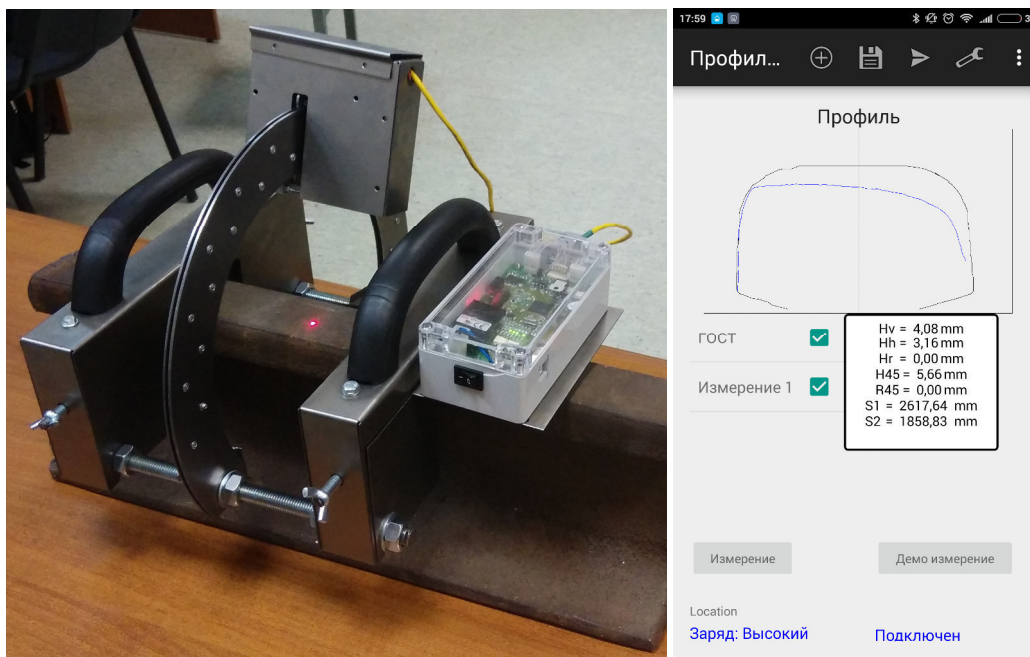


Рис. 3. Переносной рельсовый профилометр и результаты измерения.

Разработанный переносной рельсовый профилометр обеспечивает точность измерения не ниже чем у существующих аналогов. Погрешность итоговых расчетов не превышает 0,1 мм.

Время автономной работы устройства составляет 10 часов. Такая автономность позволяет проводить измерения в течении одной смены.

Разработанный профилометр имеет низкую стоимость и будет поддерживать все основные мобильные операционные системы.

Список использованных источников

1. Шахунянец Г.М. Железнодорожный путь: Учебник для вузов железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1969. – 536 с.
2. ООО «РИФТЭК» Лазерные триангуляционные датчики [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://riftek.com/ru/products/~show/sensors/laser-triangulation-sensor>. – 17.09.15.
3. Чернышев М.А., Крейнис З.Л. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1985. – 302 с.

**РАЗРАБОТКА РЕГИСТРАТОРА УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ,
ВОЗДЕЙСТВУЮЩЕГО НА ПОЛИЭТИЛЕНОВУЮ ИЗОЛЯЦИЮ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Д. А. Поляков, А. К. Касенова, К. И. Никитин

Научный руководитель: профессор, д.т.н. К. И. Никитин

Омский государственный технический университет,

Россия, г. Омск, пр. Мира, 11, 644050

E-mail: polyakowdmitry@yandex.ru

**THE DEVELOPMENT OF THE RECORDER OF UV-RADIATION AFFECTING ON THE
POLYETHYLENE INSULATION OF POWER LINES**

D. A. Polyakov, A. K. Kasenova, K. I. Nikitin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. K. I. Nikitin

Omsk State Technical University, Russia, Omsk, Mira str., 11, 644050

E-mail: polyakowdmitry@yandex.ru

***Abstract.** The paper describes the ultraviolet radiation (UVR) recorder which is developed to get the data about UVR influencing on the polyethylene insulation of power cables. It is planned to use the developed device in hardware-software complex for insulation residual life determination. Recorder processes the UVR data and transmits to the device calculating insulation residual life.*

Введение

В настоящее время все более широкое распространение получают провода и кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена. В процессе эксплуатации изоляционный материал подвергается естественным процессам старения (деполимеризации и деструкции) под воздействием следующих внешних и внутренних факторов [1-4]:

- частичные разряды;
- термическое воздействие (например, от тока, протекающего по жилам кабеля или нагрев под воздействием окружающей среды);
- влажность окружающей среды (наибольшее влияние оказывает при наличии источника частичных разрядов, в этом случае имеет место явление, называемое водным триингом);
- воздействие ультрафиолетового излучения (при нахождении изоляции на открытом солнце);
- механические воздействия (растяжения и сжатия под воздействием окружающей среды);
- химические воздействия (при наличии химических веществ, способных разрушить полиэтилен, в окружающей среде и условий для протекания химической реакции);
- радиационное воздействие (в наибольшей степени при использовании кабелей для передачи, преобразования и распределения энергии на АЭС).

Учет всех перечисленных воздействий на изоляцию в течение всего срока эксплуатации позволит определять ее остаточный ресурс и степень разрушения с помощью прогнозирующей защиты, предложенной в [5, 6].

Для реализации системы прогнозирующей защиты необходимо разработать и изготовить комплекс устройств, осуществляющих контроль каждого фактора, оказывающего деструктивное воздействие на изоляцию в отдельности и расчет остаточного ресурса на основании произведенных измерений.

Одним из таких устройств является регистратор ультрафиолетового излучения (УФИ), который будет определять дозу ультрафиолетового излучения, получаемую изоляцией в процессе эксплуатации и передавать данные на устройство, определяющее остаточный ресурс.

Регистратор ультрафиолетового излучения

Регистратор УФИ разрабатывается на основе спроектированного ранее дозатора ультрафиолетового излучения [7], который планируется использовать в ветеринарии для облучения крови.

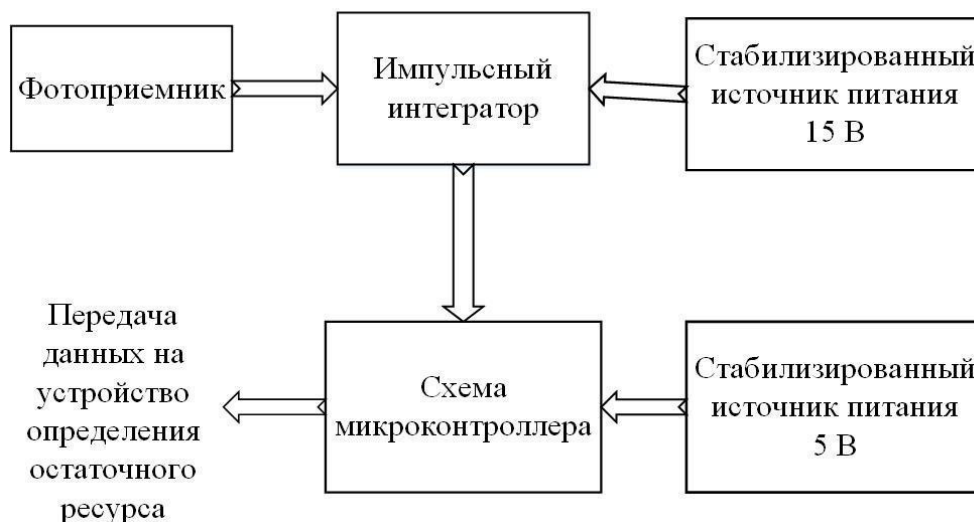


Рис. 1. Структурная схема регистратора УФИ

Для регистрации ультрафиолетового излучения используется фотодиод, работающий ультрафиолетовом диапазоне. Фотодиод имеет нелинейную вольтамперную характеристику, и для того, чтобы он работал в одном и том же режиме, его подключают в режиме короткого замыкания к импульсному интегратору, который преобразует выходной токовый сигнал фотодиода в последовательность импульсов напряжения. При этом, каждый импульс соответствует определенной энергии излучения.

Последовательность импульсов подается на микроконтроллер ATmega16, который производит подсчет импульсов и рассчитывает энергию излучения, зарегистрированную фотодиодом. Результат расчета через определенные промежутки времени передается на устройство прогнозирующей защиты по интерфейсу USART для определения остаточного ресурса изоляции.

Для отладки программы микроконтроллера использовалась компьютерная модель (рис. 2). Вместо импульсного интегратора использовался генератор импульсов прямоугольной формы, так как для расчета полученной энергии излучения необходимо определять только количество импульсов. Моделирование производилось из расчета, что энергия излучения одного импульса (согласно параметрам схемы импульсного интегратора) составляет около 0,95 мкДж.

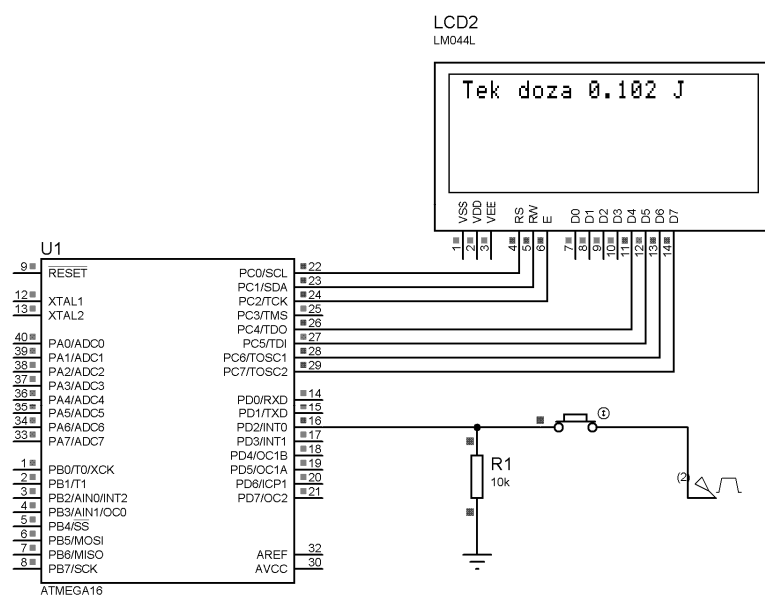


Рис. 2. Компьютерная модель регистратора УФИ

Выводы

Разработанное устройство планируется использовать в составе аппаратно-программного измерительного комплекса для определения остаточного ресурса полиэтиленовой изоляции линий электропередачи, а также для проведения экспериментальных исследований по воздействию ультрафиолетового излучения на скорость процессов старения (деструкции) изоляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. – Л.: «Энергия». Ленингр. Отделение, 1979. – 224 с.
2. Кучинский Г.С., Кизеветтер В.Е., Пинталь Ю.С. Изоляция установок высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
3. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. – Новосибирск: Наука, 2007. – 155 с.
4. Брацыхин Е.А., Шульгина Э.С. Технология пластических масс. – Л.: Химия, 1982. – 328 с.
5. Горюнов В.Н., Никитин К.И., Сарычев М.М. Опережающий автоматический ввод резерва собственных нужд электрических станций и подстанций // Омский научный вестник. – 2011. – № 3 (103). – С. 211–213.
6. Никитин К.И., Сарычев М.М., Степанов В.Д., Ерёмин Е.Н., Хацевский К.В. Опережающее автоматическое включение резерва // Омский научный вестник. – 2012. – № 1 (107). – С. 237–238.
7. Поляков, Д. А. Моделирование дозатора ультрафиолетового излучения в среде Proteus // Прикладная математика и фундаментальная информатика: Сборник науч. Трудов. - Омск, 2012. - С. 85-89.

ЗОНДИРОВАНИЕ ПОДПОВЕРХНОСТИ ДВИЖУЩИМСЯ РАДИОЛОКАТОРОМ

С.Н. Росляков, К.В. Завьялова

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Д.Я. Суханов

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

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

E-mail: serega_1994_0@mail.ru

MOVABLE SUBSURFACE RADIO SOUNDING RADAR

S.N. Roslyakov, K.V. Zavyalova

Scientific Supervisor: Ph.D. D.Ya. Sukhanov

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

E-mail: serega_1994_0@mail.ru

Abstract. *Subsurface radio sounding finds wide application for reveal road defects and permits detection of anti-personnel and anti-tank mines, including dielectric, for the investigation and mapping of underground. Radar is positioned using GPS or local positioning systems. GPS positioning has an accuracy of 1 cm, but this is insufficient accuracy for the microwave frequencies of order 10 GHz and higher, in addition GPS does not work indoors. It is proposed to apply local positioning of the radar using observation for a marker on the radio locator. The radar used the YIG. The frequency adjustment was 5.9-12.4 GHz and the measurement of speed was 20 times per second. Algorithm of the image restoration based on the Stolt's method. The applicability of this method is investigated. In this work, the imaging technology has been created with the help of the mobile radar. It's necessary to know the position of radar for correct image reconstruction. The developed technology will be widely used to search for objects hidden under the ground and in the rooms.*

Подповерхностное радиозондирование находит свое широкое применение в поиске дефектов дорог и помещений в обнаружении противопехотных и противотанковых мин, включая диэлектрические, для исследования и прокладки подземных коммуникаций [1-2]. В данной работе была разработана технология построения изображения при помощи подвижного радиолокатора.

Для корректной обработки и восстановления изображения необходимо знать положения радиолокатора до одной восьмой длины волны. Радиолокатор позиционируется при помощи GPS или локальных систем позиционирования. GPS позиционирует с точностью до 1 см, однако данной точности недостаточно для частот порядка 10 ГГц и выше, кроме того GPS не работает в помещениях. Предлагается применить позиционирование радиолокатора при помощи видеонаблюдения за маркером на радиолокаторе. Видеокамера закрепляется на штативе и фиксирует все происходящие на сцене. Маркер закреплен на локаторе. Схема видео измерений показана на рис.1.

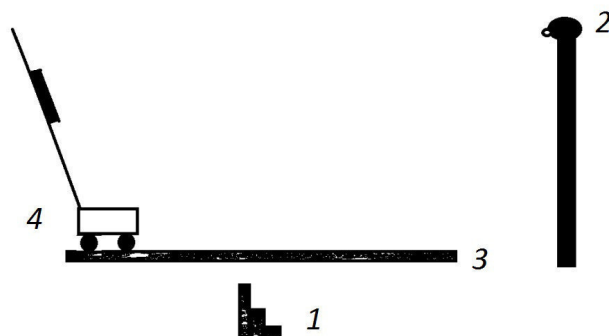


Рис. 1. Схема видео измерений с подвижным радиолокатором. 1 - тестовый объект, 2 – камера, 3 - преграда, 4 – радиолокатор

Оператор перемещает радиолокатор в области сканирования. По полученному видеоизображению определяется положение радиолокатора, с точностью достаточной для корректного восстановления изображения. Определение положения маркера производится в 2 этапа: 1 производится определение положения маркера в растровом изображении, 2 из полученных растровых координат определяется физическое положение маркера. При определении положения маркера необходимо учитывать следующие факторы: маркер может изменить угол поворота, может измениться масштаб. Гарантированно можно говорить лишь о том, что остаётся постоянным только количество вершин маркера. Для более точного определения положения в пространстве маркер имеет оригинальную форму рис. 2. Алгоритм распознавания данного маркера сводится к следующим операциям. Сначала изображение с видеокамеры преобразуется в чёрно-белое, далее на полученном растровом изображении обнаруживаются контуры черных областей. Каждый обнаруженный контур обходится по часовой стрелке. Если при обходе контура происходит поворот направо или налево, это интерпретируется как наличие вершины многоугольника. Вершинам, на которых происходит поворот направо, приводится в соответствие код «1», а вершинам, в которых происходит поворот налево, приводится в соответствие код «0».

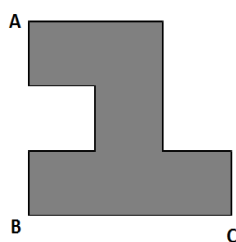


Рис. 2. Форма используемого маркера

Для определения масштаба и ориентации маркера достаточно знать положения трех его вершин. Сканирование проводится в двумерной области, что позволяет, специальным алгоритмом восстанавливать 3-х мерные изображения. В радиолокаторе использовался ЖИГ (железо иттрий гранат) генератор частота перестройки 5.9-12.4 ГГц, скорость измерений 20 раз в секунду.

Алгоритм восстановления изображения основан на методе Столта [3-5]. Для корректной работы метода Столта необходимо провести измерения поля на разных частотах, с шагом менее четверти длины волны. Из за постоянного движения локатора, измерения получаются разреженными. Экспериментально было установлено, что метод Столта устойчив к разреженным измерениям, и позволяет восстанавливать

исходное изображение. Что бы восстановить изображения методом Столта необходимо восстановить спектр пространственных частот рассеивающих неоднородностей.

$$\tilde{P}(k_x, k_y, k_z) = \tilde{U}\left(k_x, k_y, \frac{c}{2} \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}\right),$$

где $k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}$ – волновое число зондирующей волны; $\tilde{S}$ – спектр пространственных частот измеренного поля.

После восстановления пространственного спектра рассеивающих неоднородностей достаточно осуществить обратное трёхмерное преобразование Фурье, чтобы получить само искомое изображение:

$$P(x, y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{P}(k_x, k_y, k_z) e^{ixk_x + iyk_y + izk_z} dk_x dk_y dk_z$$

Восстановленное изображение изображено на рис. 3. Шумы на изображении связаны с неточностью калибровки видеокамеры, разрежённостью измерений, нелинейностью и не стабильностью работы генератора ЖИГ.

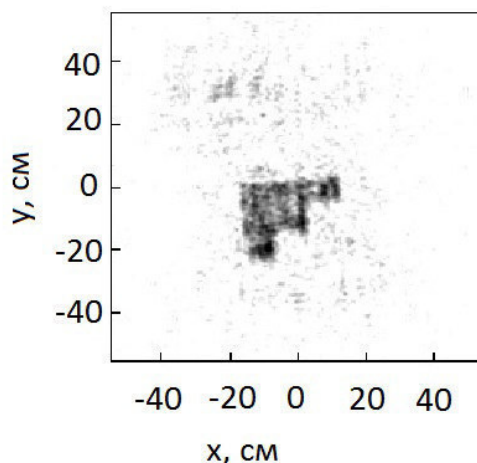


Рис. 3. Восстановленное изображение

Результаты эксперимента позволяют судить о применимости метода. Разработанная технология найдет широкое применение для поиска скрытых объектов под землей и в помещениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sukhanov D.Ya., Yakubov V.P. Application of linear frequency modulated signals in three-dimensional radio tomography // Technical physics. – 2010. – Vol. 55, Issue 4. – P. 546–550.
2. Zhuravlev A., Ivashov S., Vasiliev I., Razevig V. Processing of holographic subsurface radar data // in Proc. 14th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR). – Shanghai, China, 2012. – P. 62–65.
3. Sukhanov D.Ya., Zav'yalova K.V. Reconstruction of 3D radio images from multifrequency holographic measurements // Technical physics. – 2012. – Vol. 57, Issue 6. – P. 819–823.
4. Stolt R.H. Migration by Fourier transform // Geophysics. – 1978. – Vol. 43, No. 1. – P. 23–48.
5. Yilmaz Oz. Seismic Data Analysis: processing, inversion, and interpretation of seismic data. – Tulsa, USA: Society of Exploration Geophysicists, – 2001.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ КОПЛАНАРНОГО ВОЛНОВОДА

А.А. Савин

Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.И. Тисленко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: savin@tusur.ru

MATERIALS PROPERTIES DETERMINING BASED ON BROADBAND MEASUREMENTS OF COPLANAR WAVEGUIDE PARAMETERS

A.A. Savin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.I. Tislenko

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

E-mail: savin@tusur.ru

Abstract. *The paper presents a method of determining the relative permittivity and dielectric loss tangent using S-parameter measurement system and model of the coplanar waveguide. Using the results of propagation constant measurements and modeling of resistance and inductance values, it is possible to determine the unknown quantities. An important feature of the proposed method is a way to clarify the conductivity of metallization layer. It is based on a linear approximation of loss tangent in the low frequency range and on the lack of losses at zero frequency.*

В работе [1] на основе измерений и модели копланарного волновода [2] приведены выражения, которые позволяют определить относительную диэлектрическую проницаемость ϵ_r и тангенс угла диэлектрических потерь $\tan \delta$ материала пластины:

$$\epsilon_r = \frac{C}{2\epsilon_0 F_{\text{low}}} - \frac{F_{\text{up}}}{F_{\text{low}}}; \quad \tan \delta = \frac{G}{2\omega \epsilon_0 \epsilon_r F_{\text{low}}}, \quad (1)$$

причем емкость C и проводимость G на единицу длины могут быть найдены из соотношения:

$$G + j\omega C = \gamma^2 / (R + j\omega L),$$

где γ – измеренное значение постоянной распространения волновода; ϵ_0 – электрическая постоянная. Формулы для расчета F_{low} и F_{up} приведены в [2] и они определены только геометрическими размерами волновода. Для нахождения сопротивления R и индуктивности L на единицу длины необходимо знать геометрические размеры волновода и проводимость слоя металлизации k [2]. Геометрические размеры могут быть измерены специальными средствами с высокой точностью. В [1] отмечена чувствительность результатов расчетов по (1) от используемого значения k . В данной работе рассмотрен способ уточнения априорного значения проводимости металла k .

Для обеспечения высокой точности измерений S -параметров на пластине используют калибровку векторного анализатора цепей (ВАЦ) multiline TRL [3]. Методы и особенности применения и калибровки ВАЦ рассмотрены в [4]. Важной особенностью калибровки multiline TRL является возможность

определения постоянной распространения используемых линий передачи в процессе калибровки. Экспериментальные исследования выполнены на пластине из арсенида галлия. Длины используемых для калибровки линий составляли 0,5; 0,858; 2,632; 3,696; 7,062 и 20,19 мм (опорный материал RM 8130). Фазовые соотношения коэффициентов передачи линий обеспечивают высокую точность измерений в диапазоне частот от 100 МГц до 70 ГГц. Геометрические размеры, определяющие электрические параметры линии на единицу длины, следующие [5]: ширина земляных проводников $w_g = 260$ мкм; ширина центрального сигнального проводника $w = 63$ мкм; ширина зазоров между сигнальным и земляными проводниками $s = 45$ мкм; толщина слоя металлизации $t = 0,9$ мкм. Конструкция копланарного волновода в поперечном сечении схематично показана на рис. 1. В качестве значения проводимости k в работе [5] указано приближенное значение 9.5 МСм/м.

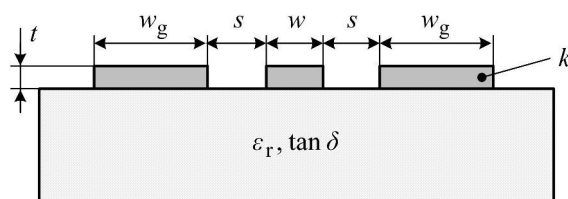


Рис. 1. Сечение копланарного волновода с обозначением геометрических размеров

Уточнение значения проводимости выполнено следующим образом. Будем полагать, что закон изменения тангенса угла потерь в области низких частот имеет линейный характер. Таким образом, для расчета тангенса угла потерь на постоянном токе (нулевой частоте, индекс 0) можно использовать первую (индекс 1) и вторую (индекс 2) измерительные точки:

$$(\tan \delta)_0 = (\tan \delta)_1 - \frac{(\tan \delta)_2 - (\tan \delta)_1}{f_2 - f_1} \cdot f_1, \quad (2)$$

где f_1 и f_2 – частоты (в рассматриваемом эксперименте $f_1 = 100$ МГц и $f_2 = 200$ МГц); значения $(\tan \delta)_1$ и $(\tan \delta)_2$ на соответствующих частотах должны быть получены при помощи (1).

На рис. 2 показана зависимость $(\tan \delta)_0$, вычисленная по формуле (2), при различных k .

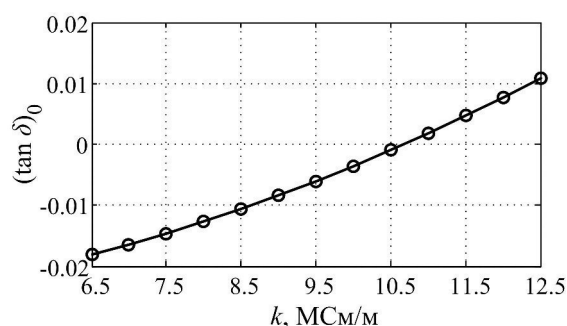


Рис. 2. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь на нулевой частоте от проводимости слоя металлизации

Сделаем предположение, что значение $(\tan \delta)_0$ должно быть равно 0. Тогда анализ графика на рис. 2 дает оценочное значение проводимости $k = 10,6$ МСм/м.

Результаты расчетов по (1) для значений $k = 9,5$ МСм/м и $k = 10,6$ МСм/м показаны рис. 3.

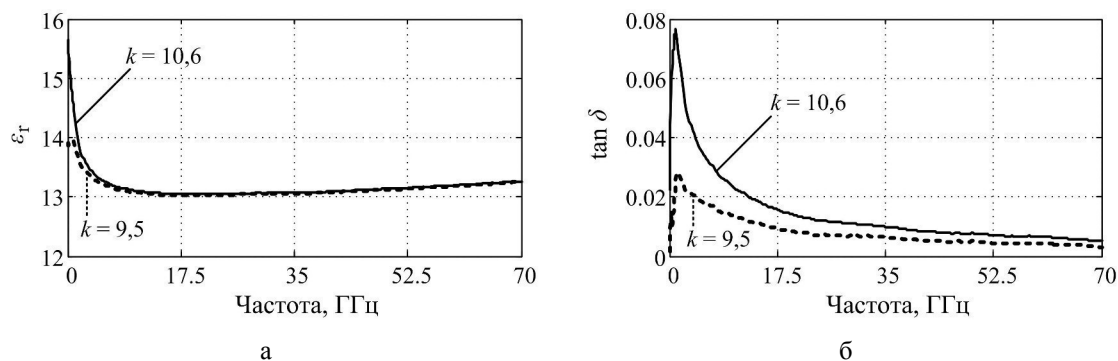


Рис. 3. Зависимости относительной диэлектрической проницаемости (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) от частоты

Изменение k существенным образом влияет на тангенс угла потерь, как и указано в [1]. Отметим, что расчет значения k по приведенной выше методике также можно использовать, если априорное значение проводимости достоверно не известно.

Таким образом, в работе рассмотрен метод определения относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь с использованием системы измерения S -параметров и модели копланарного волновода. Используя результаты измерений постоянной распространения и моделирование погонных значений сопротивления и индуктивности, обеспечивается возможность определения искомых величин.

Важной особенностью предложенного метода является способ уточнения проводимости слоя металлизации. Он основан на линейной аппроксимации тангенса угла потерь в области низких частот и отсутствии потерь на частотах, близких к нулевым. Для реализации метода также можно использовать любое известное значение $(\tan \delta)_0$.

Автор выражает благодарность Уве Арз (РТВ, Германия) за предоставленные экспериментальные измерения.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-3107.2015.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arz U., Leinhos J. Broadband Permittivity Extraction from On-Wafer Scattering-Parameter Measurements // 12th IEEE Workshop on Signal Propagation on Interconnects (SPI 2008). – 2008. – P. 1–4.
2. Heinrich W. Quasi-TEM description of MMIC coplanar lines including conductor-loss effects // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1993. – Vol. 41, issue 1. – P. 45–52.
3. Marks R.B. A multi-line method of network analyzer calibration // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1991. – Vol. 39, issue 7. – P. 1205–1215.
4. Губа В.Г., Ладур А.А., Савин А.А. Классификация и анализ методов калибровки векторных анализаторов цепей // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 1. – С. 149–155.
5. Arz U., Janezic M.D., Heinrich W. Wideband Relative Permittivity Extraction Based on CPW Phase Constant Measurements // 77th Microwave Measurement Conference (ARFTG). – 2011. – P. 1–3.

**НЕЧЕТКАЯ ИМИТАЦИОННАЯ СИСТЕМА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ
ПЛОТНОСТИ ТОКА В ПУЧКЕ ЭЛЕКТРОНОВ ФОРВАКУУМНОГО ПЛАЗМЕННОГО
ИСТОЧНИКА**

К.С. Сарин, А.В. Медовник

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: sks@security.tomsk.ru

**FUZZY IMITATION SYSTEM OF CHOICE OPTIMAL VALUES CURRENT DENSITY IN THE
ELECTRON BEAM OF FORELINE PLASMA SOURCE**

K.S. Sarin, A.V. Medovnik

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

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

40 Lenina Prospect, Tomsk, Russia 634050

E-mail: sks@security.tomsk.ru

Abstract. *This article proposes a solution for finding the foreline plasma source parameters. The solution uses fuzzy imitation system. The problem is reduced to an optimization problem whose solution is carried out using an algorithm cuckoo search.*

Введение. При поверхностной обработки материалов важным фактором является однородность плотности тока по сечению электронного пучка. Плотность тока зависит от параметров плазменного источника, расстояния до места обработки и неоднородно по сечению пучка. Сложность процессов, протекающих в электронных пучках форвакуумных диапазонов давлений, затрудняет построение аналитических моделей для выбора оптимальных значений рабочих параметров плазменного источника. Решением указанной проблемы может быть применение нечетких имитационных моделей, построенных на основе экспериментальных данных, и метаэвристических методов оптимизации.

Цель настоящей работы заключается в решении прямой задачи – построении нечеткой модели зависимости плотности тока по сечению пучка от параметров плазменного источника электронов, расстояния до места обработки, а также в решении обратной задачи – выборе оптимальных параметров, обеспечивающих однородность плотности тока пучка.

Эксперимент проводился на макете электронного источника с плазменным катодом на основе дугового разряда, постоянное ускоряющее напряжение U (4–8 кВ), давление p (3–8 Па), ток разряда I (20–60 А). Радиальная координата r отсчитывалась от оси симметрии источника электронов (–60–60 мм), которая совпадает с центром катода, а вертикальная координата L – от экстрактора (75–275 мм) [1].

По результатам серии экспериментов была сформирована таблица размером 625 наблюдений, выходным признаком которой является плотность тока по сечению пучка источника j , входными являются пять выше названных признаков: U, p, I, r, L .

Нечеткая модель зависимости плотности тока – это модель типа Такаги-Сугено с правилами вида:
 $R_i: \text{IF } L = AL_i \text{ AND } p = Ap_i \text{ AND } U = AU_i \text{ AND } I = AI_i \text{ AND } r = Ar_i \text{ THEN } j = d_{0i} + d_{1i}L + d_{2i}p + d_{3i}U + d_{4i}I + d_{5i}r$
 где AX_i – нечеткий терм, которым оценивается входная переменная X ; выход j задается линейной функцией от входных переменных.

Построение нечеткой модели проводилась в два этапа. На первом этапе формировались структурные характеристики модели, такие как, число нечетких правил и количество нечетких термов для каждого входного признака. На втором этапе для сформированной структуры проводилась оптимизация параметров нечетких термов и параметров линейных функций таким образом, чтобы среднеквадратичная ошибка, вычисленная на обучающей части таблицы наблюдений, была минимальной. Подробное описание указанных этапов приведено в работе [2].

Оптимизация параметров плазменного источника заключается в подборе таких параметров, которые минимизируют отклонение модельной функции плотности тока от идеальной, задаваемой в виде

$$j(r) = \begin{cases} const, & \text{если } r_1 \leq r \leq r_2 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}.$$

Модельная функция плотности тока формируется нечеткой моделью, обозначим ее $f(r, U, p, I, L)$. С учетом приведенных обозначений целевая функция для подбора параметров U, p, I, L плазменного источника имеет следующий вид:

$$\int_{r_1}^{r_2} (f(r; U, p, I, L) - j(r))^2 dr \rightarrow \min.$$

Для нахождения значения целевой функции на вычислительном устройстве, она преобразуется в дискретный вид:

$$\sum_{i=1}^n (f(r_i) - j(r_i))^2 \Delta r \rightarrow \min,$$

здесь n – количество отрезков, на которые разбивается участок $[r_1, r_2]$, Δr – длина каждого участка, r_i – середина i -го отрезка.

Собственно, оптимизация выполнялась метаэвристическим алгоритмом «кукушкин поиск» [3] в пространстве выше описанных входных признаков. Пошаговое представление алгоритма приведено ниже.

Вход: параметры алгоритма «кукушкин поиск»; начальный вектор параметров; функция идеальной плотности тока, Δ – суммарное отклонение значений модельной функции плотности тока от идеальной.

Выход: оптимальные значения параметров U, p, I, L .

Шаг 1. Генерация алгоритмом «кукушкин поиск» текущего вектора параметров U, p, I, L .

Шаг 2. Формирование модельной функции плотности тока на текущем векторе параметров.

Шаг 3. Если суммарное отклонение значений модельной функции плотности тока от идеальной больше Δ , то переход на шаг 1, иначе Выход.

Результаты.

Поставлена задача найти значения параметров U, p, I, L плазменного источника, при которых плотность тока в пучке на расстоянии L мм от экстрактора была бы однородной и соответствовала значению 1 А/см² и 1.5 А/см². Для поиска параметров был применен вышеописанный алгоритм, в котором поиск оптимального значения велся на участке $[-20, 20]$ радиальной координаты r , кроме этого

количество отрезков, на которых разбивался данный участок для вычисления целевой функции, соответствовало значению 40. В результате работы алгоритма для плотности тока 1 А/см^2 были найдены следующие параметры: $L=75 \text{ мм}$, $p=6.531 \text{ Па}$, $U=6.961 \text{ кВ}$ и $I=34.166 \text{ А}$. Для плотности тока 1.5 А/см^2 следующие параметры: $L=121.809 \text{ мм}$, $p=6.298 \text{ Па}$, $U=6.934 \text{ кВ}$ и $I=40.285 \text{ А}$. На рисунке 1 приведены результаты работы нечеткой имитационной системы, которая представляет плазменный источник, на найденных срезах. Сплошной линией представлена плотность тока на выходе нечеткой системы, пунктирной – идеальная плотность тока.

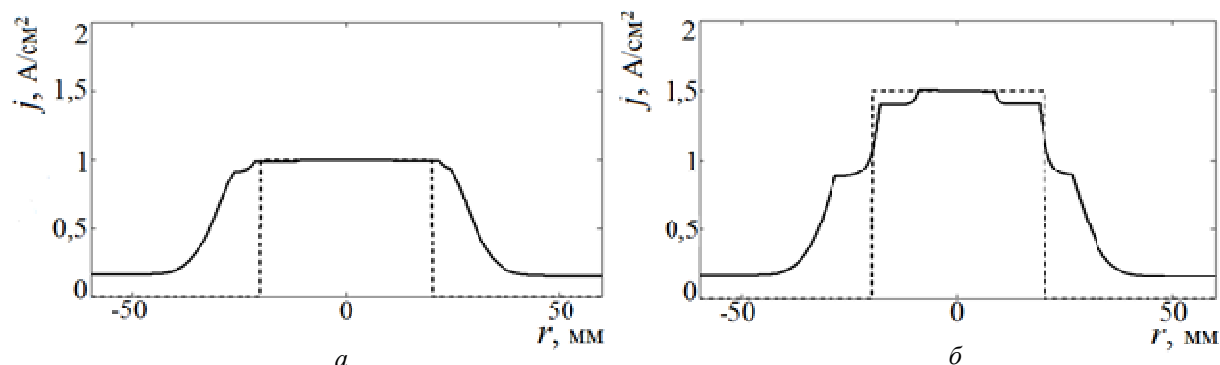


Рис. 1 Графическое представление результатов работы нечеткой имитационной системы:

$a - j=1 \text{ А/см}^2$, $b - j=1,5 \text{ А/см}^2$

Закключение. Представленное в работе решение позволяет определить такие параметры форвакуумного плазменного источника как ускоряющее напряжение, ток разряда, давление, расстояние от экстрактора до места обработки. Оптимальное сочетание этих параметров необходимо для достижения однородности плотности тока по сечению электронного пучка с заданным значением, что вызвано необходимостью повышения качества обработки поверхности материала. Предлагаемое решение использует нечеткую имитационную систему, которая производит эмуляцию работы плазменного источника. Задача нахождения параметров сводится к проблеме оптимизации, которая решается с помощью метаэвристического алгоритма «кукушкин поиск». Дальнейшие исследования будут направлены на разработку нечеткой имитационной системы, в которой зависимость плотности тока будет определяться большим количеством характеристик плазменного источника, что, возможно, повысит ее адекватность и как можно ближе приблизит к реальности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков А.В., Бурдовицин В.А., Медовник А.В., Окс Е.М. Форвакуумный импульсный плазменный источник электронов на основе дугового разряда // Приборы и техника эксперимента. – 2013. – № 6. – С. 50-53.
2. Сарин К.С., Медовник А.В., Ходашинский И.А. Нечеткий аппроксиматор значения плотности тока в пучке электронов форвакуумного плазменного источника // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – № 4 (38). – С. 161-165.
3. Yang X.S., Deb S. Cuckoo search: recent advances and applications // Neural Computing and Applications. – 2014. – V. 24, N 1. – P. 169-174.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ DATA MINING ДЛЯ СОЗДАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ БАЗ ЗНАНИЙ

А.С. Сеидова, Е.В. Берестнева, И.А. Осадчая

Научный руководитель: доцент, к.т.н. О.В. Марухина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: aysel4421@mail.ru

APPLICATION OF THE DATA MINING METHODS FOR CREATION OF MEDICAL KNOWLEDGE BASES

A.S. Seidova, E.V. Berestneva, I.A. Osadchaya

Scientific Supervisor: Associate Professor., Ph.D. O.V. Maruhina

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

E-mail: aysel4421@mail.ru

Abstract. Now the problem of development of means of expression and the analysis of medical information is actual. The most effective software solving this problem are the system of support of decision-making (SSDM). In the report one of approaches of creation of knowledge bases for SPPR – a method of trees of decisions is considered.

Введение

Медицинские информационные технологии приобретают все большую актуальность, а программное обеспечение для медицины становится все более востребованным. Под медицинской информационной системой (МИС) понимается комплексная автоматизированная информационная система, в которой объединены электронные медицинские записи о пациентах, данные медицинских исследований, данные мониторинга состояния пациента с медицинских приборов и т.п. [1]

Отличительной особенностью интеллектуальных МИС является наличие базы знаний. База знаний – это особого рода база данных, разработанная для управления знаниями, т.е. сбором, хранением, поиском и выдачей знаний.

Знание - это хорошо структурированные данные, или данные о данных, или метаданные. Для хранения знаний используются базы знаний, которые, в свою очередь, являются основами для любых информационных систем [2,3].

Методы представления знаний

Существуют десятки моделей (или языков) представления знаний для различных предметных областей. Большинство из них может быть сведено к следующим классам [2,3]:

- семантические сети;
- фреймы;
- формальные логические модели;
- продукционные модели.

Продукции являются наиболее популярными средствами представления знаний. Продукции, с одной стороны, близки к логическим моделям, что позволяет организовывать на них эффективные процедуры вывода, а с другой стороны, более наглядно отражают знания, чем классические логические модели. В

них отсутствуют жесткие ограничения, характерные для логических исчислений, что дает возможность изменять интерпретацию элементов продукции. Если в памяти системы хранится некоторый набор продукции, то они образуют систему продукции.

В Институте кибернетики Томского политехнического университета разработан прототип системы поддержки научных исследований бронхиальной астмы [4-6]. Бронхиальная астма является причиной значительных ограничений жизнедеятельности, снижения социальной активности больных, т.е. снижения их качества жизни. На развитие болезни влияют не только такие факторы как наследственность, профессиональные факторы, экологические факторы, нервная и иммунная системы, но и возможно ряд других факторов. Для выявления скрытых закономерностей у больных бронхиальной астмой нами были использованы преимущественно продукционные модели [4-8].

Математическая постановка задачи

Для нахождения решающего правила посредством определенных математических инструментов, необходимо имеющиеся знания представить и структурировать согласно математическим терминам.

Имеется выборка X из n объектов (больные), характеризующихся m переменными (физиологические, социальные, психологические показатели).

И вектор $Y = \{y_1, \dots, y_i \dots y_k\}$, где y_i – один из возможных диагнозов (BAP, BASP, BANP, PD), k – количество прогнозируемых классов (диагнозов).

Таким образом, задача заключается в построении решающих правил для выявления закономерностей, т.е. для отнесения i -го объекта ($i = 1 \dots n$) (больного) с определенным признаком j ($j = 1 \dots m$) к одному из имеющихся классов y_i ($i = 1 \dots k$) (диагнозов).

Алгоритмы ограниченного перебора

Алгоритмы ограниченного перебора были предложены в середине 60-х годов М.М. Бонгардом для поиска логических закономерностей в данных.

Эти алгоритмы вычисляют частоты комбинаций простых логических событий в подгруппах данных.

Ограничением служит длина комбинации простых логических событий (у М. Бонгарда она была равна 3). На основании анализа вычисленных частот делается заключение о полезности той или иной комбинации для установления ассоциации в данных, для классификации, прогнозирования и пр.

Построение деревьев решений

Дерево решений – это способ представления правил в иерархической, последовательной структуре. Деревья решений способны решать такие задачи, в которых отсутствует априорная информация о виде зависимости между исследуемыми данными.

Иерархическое строение дерева классификации – одно из наиболее важных его свойств.

В настоящее время на рынке программных продуктов имеется достаточно большой выбор инструментария для компьютерной реализации метода деревьев решений. В нашем исследовании был использован пакет STATISTICA – система для статистического анализа данных, включающая широкий набор аналитических процедур и методов.

Пример фрагмента построения дерева решений представлен на рис. 1. Для примера определим зависимость между видами бронхиальной астмы и такими полями как «пол», «возраст», «вес», «рост».

При построении дерева, представленного на рис.1, использовался критерий останова $N=9$, т.е. если количество объектов в данном правиле меньше либо равно 9 то выборка прекращается. Если же $N>9$ то дерево продолжает ветвиться.

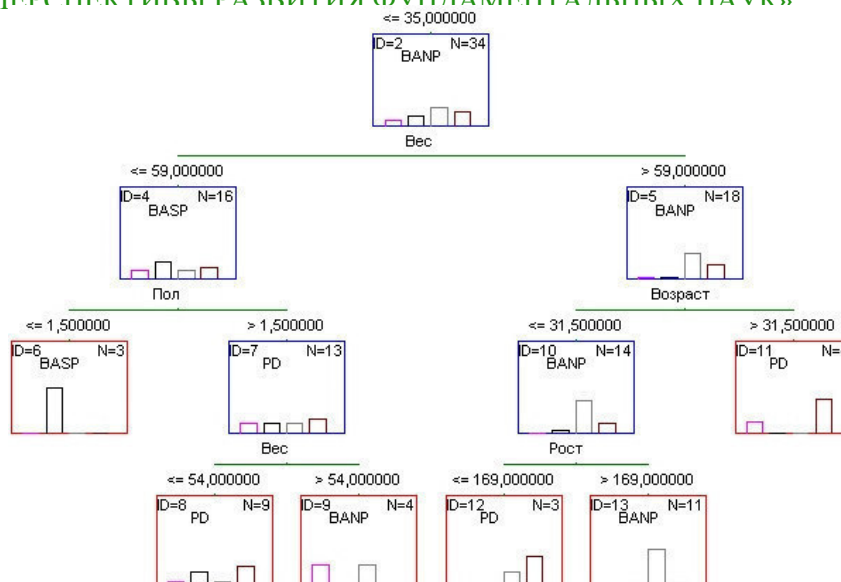


Рис. 1. Фрагмент дерева решений, построенного по данным анамнеза

Заключение

Полученные результаты будут использованы для расширения имеющейся базы знаний системы поддержки научных исследований бронхиальной астмы, а также при создании прототипа виртуального центра оценки и мониторинга состояния детей с наиболее распространенными неинфекционными заболеваниями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старикова А.В., Берестнева О.Г., Шевелев Г.Е., Шаропин К.А., Кабанова Л.И. Создание подсистемы принятия решений в медицинских информационных системах // Известия Томского политехнического университета. - 2010. - Т. 317 - № 5. - С. 194–197.
2. Берестнева О.Г., Марухина О.В. Базы данных и экспертные системы: Учебное пособие. - Томск: ТПУ, 2010. - 108 с.
3. Загоруйко Н.Г. Вычислительные системы. Экспертные системы и анализ данных: Сборник научных трудов. – Новосибирск, 1991. – 177 с.
4. Берестнева О.Г., Немеров Е.В., Языков К.Г., Фокин В.А., Карпенко П.В., Бурцева А.Л. Проблемы формирования базы знаний психогенных форм бронхиальной астмы // Конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям (IS-IT'14): труды конгресса, Дивноморское. - Москва, 2014 - Т. 2 - С. 250-252.
5. Осадчая И.А., Берестнева Е.В. Применение многомерных методов анализа данных в задачах оценки качества жизни // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XII Всероссийск. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. - Томск, 2014 - Т. 2 - С. 310-311.
6. Берестнева О.Г., Муратова Е.А. Проблемы унификации данных в научных психологических и медицинских исследованиях // Информатика и системы управления. - 2010. - № 2. - С. 37-40.
7. Марухина О.В., Непотребная А.А. Применение методов Data Mining для анализа медицинских данных // Перспективы развития информационных технологий: труды Всероссийск. молодеж. научно-практ. конф. - Кемерово, 2014 - С. 247-248.
8. Берестнева О.Г., Уразаев А.М., Марухина О.В. Технологии выявления скрытых закономерностей на основе интеллектуального анализа данных // Информационные и математические технологии в науке и управлении: Труды XIV Байкальской Всероссийск. конф. - Иркутск, 2009. - С. 26-35.

**ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЯЕМЫХ ВОЛНОВОДНЫХ
КАНАЛОВ В ФОТОПОЛИМЕРНО-ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЯХ**

А.О. Семкин, Д.И. Малышева, О.В. Незнанова

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

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

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

E-mail: a.o.semkin@gmail.com

**HOLOGRAPHIC FORMATION OF CONTROLLABLE WAVEGUIDE CHANNELS SYSTEM IN
PHOTOPOLYMER-LIQUID CRYSTALLINE COMPOSITION**

A.O. Semkin, D.I. Malysheva, O.V. Neznanova

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

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

E-mail: a.o.semkin@gmail.com

Abstract. *In this work the theoretical model of holographic formation of controllable waveguide channels system in photopolymer-liquid crystalline composition is developed. The ability to control the light propagation conditions in waveguides by external electric field impact is demonstrated.*

Возможность формирования волноводных каналов для оптического и терагерцового излучения в фотополимеризующихся композициях в последнее время вызывает большой интерес у исследователей. Сформированные голографически или методом фотолитографии, такие волноводы находят самое широкое применение в устройствах интегральной оптики и фотоники [1-4]. Кроме этого, перспективным представляется создание управляемых световодов, условиями распространения света в которых можно управлять путем внешнего воздействия, например, электрического поля. Одним из возможных решений данной задачи является голографическая запись волноводных каналов в фотополимерной композиции, содержащей жидкие кристаллы.

Целью данной работы является разработка теоретической модели голографического формирования системы управляемых волноводных каналов в фотополимерно-жидкокристаллической (ФПМ-ЖК) композиции.

Рассмотрим падение двух плоских монохроматических волн E_0 и E_1 под углами θ_0 и θ_1 на образец ФПМ-ЖК (рис. 1а). Процесс голографического формирования волноводных каналов описывается системой кинетических уравнений (СКУ), записанных для концентрации мономера и показателя преломления, учитывающие вклад фотополимеризационного и диффузионного механизмов в формирование структуры [5-7].

Решение задачи записи будем искать в виде суммы пространственных гармоник [7]:

$$M(\tau, \mathbf{r}) = \sum_{j=0}^H M_j(\tau, z) \cos(j\mathbf{K}_1 \mathbf{r}), \quad n(\tau, \mathbf{r}) = n_{st} + \sum_{j=0}^H n_j(\tau, z) \cos(j\mathbf{K}_1 \mathbf{r}), \quad (1)$$

где $M_j(\tau, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} M(\tau, \mathbf{r}) \cos(j\mathbf{K}_1 \mathbf{r}) d(\mathbf{K}_1 \mathbf{r})$, $n_j(\tau, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} n(\tau, \mathbf{r}) \cos(j\mathbf{K}_1 \mathbf{r}) d(\mathbf{K}_1 \mathbf{r})$ – амплитуды

гармоник концентрации мономера и показателя преломления соответственно; n_{st} – значение показателя преломления ФПМ-ЖК при $\tau = 0$, $\tau = t/T_m$ – относительное время; T_m – характерное время диффузии компонент ФПМ-ЖК; $\mathbf{K}_1$ – вектор решетки, соответствующий первой гармонике концентрации мономера; $\mathbf{r}$ – радиус-вектор.

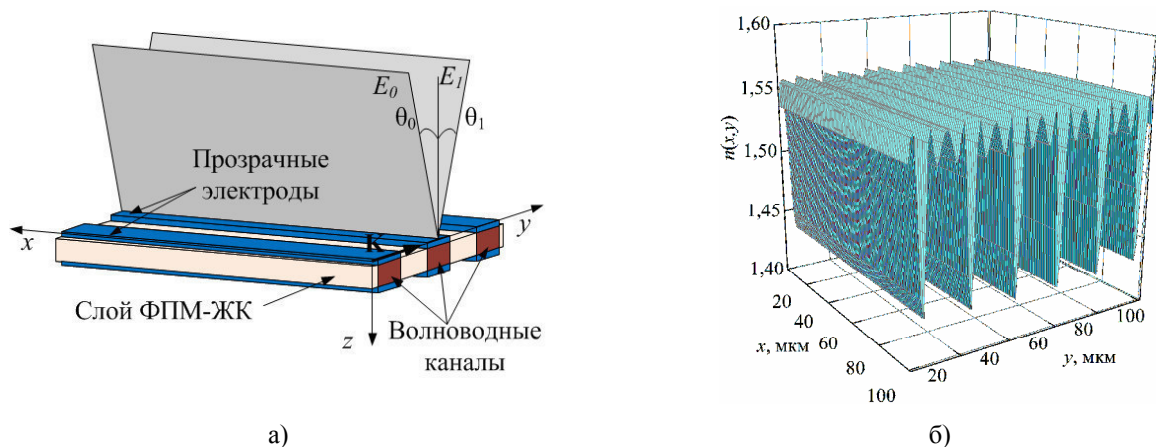


Рис. 1 Голографическое формирование системы волноводных каналов: а) геометрия записи, б) расчетный профиль показателя преломления

Решение СКУ для произвольной степени нелинейности процесса записи и произвольного количества записывающих пучков приведено в [7]. В случае высокой степени нелинейности возможно формирование такого профиля показателя преломления в ФПМ-ЖК, при котором будет выполняться волноводный режим распространения света в материале. Нелинейность записи достигается за счет изменения соотношения вклада фотополимеризационного и диффузионного механизмов в процесс формирования фотонной структуры. На рис. 1б приведен профиль показателя преломления для соотношения характерных времен полимеризации и диффузии $T_p/T_m = 0.25$ и соотношении амплитудных коэффициентов $\delta n_p/\delta n_i = 0.3$ с учетом 7 высших гармоник без учета поглощения света.

Записанной системой волноводных каналов можно управлять путем воздействия внешнего электрического поля на отдельные волноводы. Данная возможность реализуется нанесением системы электродов на поверхности стеклянных пластин, как показано на рис. 1, 2. Подача напряжения на отдельные электроды позволяет «выключать» волноводы (рис. 2а), менять период волноводной структуры (рис. 2б) и т.д.

Из рис. 2 видно, что воздействие электрического поля на образец приводит к тому, что в области записанного волновода показатель преломления больше не изменяется (рис. 2а, 2б) и условия волноводного распространения излучения не выполняются.

Таким образом, в работе разработана теоретическая модель голографического формирования в образце ФПМ-ЖК системы управляемых внешним электрическим полем волноводных каналов.

Работа выполнена в рамках проектной части Госзадания Минобрнауки РФ (проект №3.878).

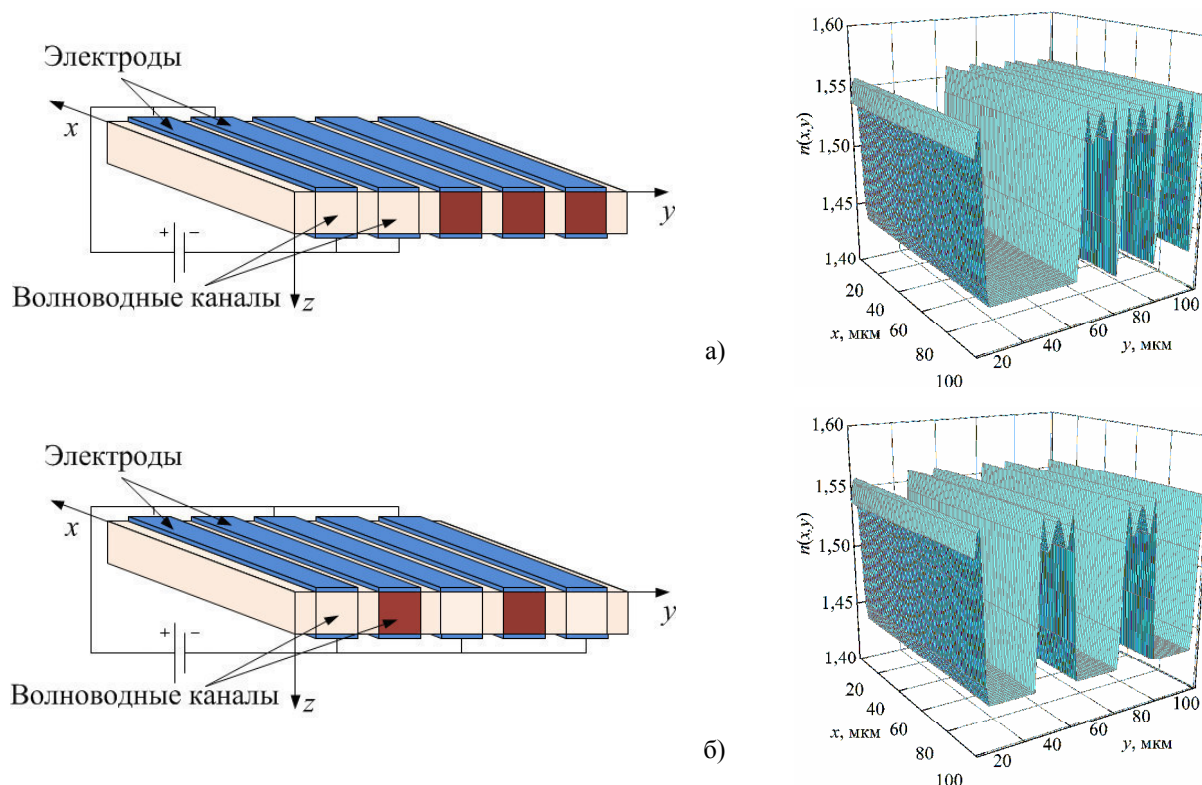


Рис. 2. Управление системой волноводных каналов: а) «выключение» одного из волноводов;
б) изменение периода волноводной структуры

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вдовин В.А. Оптический синтез световодов из фотополимеров / В.А. Вдовин, А.Л. Лонин, С.Н. Менсов // Журнал технической физики. – 2001. – Т. 1. – №7. – С. 67-71
2. McEwan I. A High Performance Optical Photo-Polymer for Planar Lightwave Curcuits / I. McEwan, N. Suyal, X. Li, F. Tooley // Proceedings of 2002 IEEE/LEOS Workshop on Fibre and Optical Passive Components (Cat.No.02EX595). – 2002. – P. 133-139.
3. Менсов С.Н. Об эффективности оптической стыковки световодов в фотополимеризующейся композиции / С.Н. Менсов, Ю.В. Полуштайцев // Квантовая электроника. – 2007. – №9. – С. 881-884.
4. Baylor M.-E. et al. Monolithic integration of optical waveguide and fluidic channel structures in a thiol-ene/methacrylate photopolymer // OPTICAL MATERIALS EXPRESS. – 2012. – Vol. 2. – №11. – P. 1548-1555.
5. Довольнов Е.А. Нелинейная модель записи и считывания голографических дифракционных решеток пропускающего типа в поглощающих фотополимерах. 1. Теоретический анализ / Е.А. Довольнов, С.Н. Шарангович // Известия вузов. Физика – 2005. – Т. 48. – № 5 – С. 56–63.
6. Довольнов Е.А. Нелинейная модель записи и считывания голографических дифракционных решеток пропускающего типа в поглощающих фотополимерах. 2. Численное моделирование и эксперимент / Е.А. Довольнов, С.Н. Шарангович // Известия вузов. Физика – 2005. – Т. 48. – № 7 – С. 85–92.
7. Нелинейная модель многопучковой записи голографических фотонных структур в поглощающих фотополимерных композитах / В.Г. Миргород, Е.А. Довольнов, С.Н. Шарангович // Доклады ТУСУРа. – 2007. – №2(16) – С. 185–191.

**СПЕЦИФИКА РЕАЛИЗАЦИИ КРОССПЛАТФОРМЕННОГО ФРЕЙМВОРКА ДЛЯ
ВИЗУАЛИЗАЦИИ КОГНИТИВНЫХ СРЕДСТВ**

А.В. Ямшанов¹

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.Е. Янковская^{1,2,3,4,5}

¹Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

²Томский государственный архитектурно-строительный университет,

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

³Национальный исследовательский Томский государственный университет,

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

⁴Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

⁵Сибирский государственный медицинский университет,

Россия, г. Томск, Московский тр-т, 2, 634050

E-mail: yav@keva.tusur.ru

**ASPECTS OF CROSS-PLATFORM IMPLEMENTATION OF FRAMEWORK FOR
VISUALIZATION OF COGNITIVE TOOLS**

A.V. Yamshanov¹

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.E. Yankovskaya^{1,2,3,4,5}

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

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

³National Research Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

⁴Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

⁵Siberian State Medical University, Russia, Tomsk, Moskovskiy trakt, 2, 634050

E-mail: yav@keva.tusur.ru

Abstract. *A new version of framework for visualization of cognitive tools based on shader rendering approach and web-browser technologies is described. The comparison with the previous version of rendering library based on GDI+ rendering approach is given. The pros and cons of the new approach are discussed. Plans for future investigations are presented.*

Приводится описание результата дальнейших исследований по реализации кроссплатформенного программного фреймворка для визуализации когнитивных средств [1, 2].

Текущая программная реализация разрабатываемого фреймворка содержит только часть функционала, доступного в предыдущей версии библиотеки визуализации когнитивных средств, но имеет модульную архитектуру, упрощающую развитие фреймворка и создание основанных на нем средств визуализации. Фреймворк состоит из трех основных компонент: входных процессоров (Input Processors), обеспечивающих интеграцию в интеллектуальные системы; композиторов сцены (Scene

Compositors), отвечающих за размещение примитивов на экране и их расположение относительно друг друга; и универсальной библиотеки примитивов (Primitive Library), содержащих общие компоненты для разных средств визуализации. Рамки доклада не позволяют описать типовые примеры, реализуемых в фреймворке компонент. Архитектура фреймворка представлена на рис. 1.

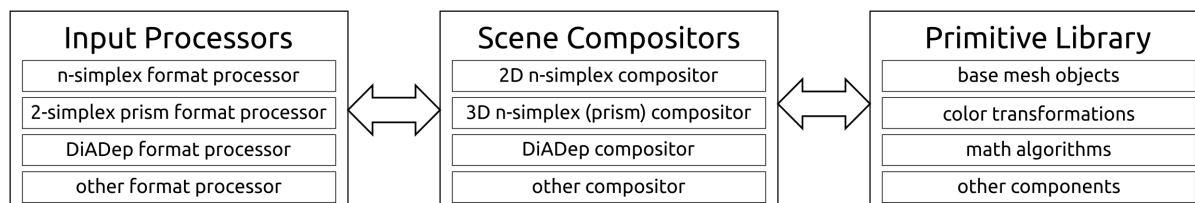


Рис. 1. Архитектура фреймворка для визуализации когнитивных средств

Предыдущая версия библиотеки [1, 2] была разработана с использованием языка C# и библиотеки для рисования GDI+. Текущая версия фреймворка создана с нуля с использованием JavaScript 1.5 и WebGL 1.0, и предназначена для встраивания в web-приложения. По данным сайта CanIUse [3] при использовании выбранных средств фреймворк будет работать во всех основных браузерах, в том числе мобильных, и может быть использован внутри desktop-приложений при применении встраиваемого движка webkit или при построении приложения на основе технологии Electron [4].

Отличия текущей версии от предыдущей [1, 2] заключается в следующем:

- 1) полноценный antialiasing для всех визуализируемых объектов, генерирующий более привлекательные для восприятия визуализации;
- 2) полноценный z-буфер, исправляющий большое количество артефактов визуализации в предыдущей версии;
- 3) функционал отрисовки полупрозрачных объектов, позволяющий новые возможности для создания когнитивных средств;
- 4) функционал raycasting, открывающий новые возможности для интерактивного взаимодействия с когнитивными средствами;
- 5) потенциал к расширению, например, реализации оптимизирующего алгоритма размещения подписей.

Функционал отрисовки полупрозрачных объектов реализован с применением метода Depth Peeling [5]. В данном методе отрисовка конечного изображения происходит за несколько шагов: на первом шаге происходит отрисовка всех непрозрачных пикселей, затем выполняется несколько шагов для отрисовки прозрачных пикселей (чем больше шагов, тем лучше качество изображения, но меньше производительность), а на заключительном шаге все полученные на предыдущих этапах изображения объединяются в одно. Функционал Raycasting реализован с использованием дополнительного шага отрисовки, при котором происходит генерация текстуры объектов [6]. При этом объекты, для которых не требуется raycasting, не отрисовываются на данной текстуре. Отрисовка пунктирных линий происходит с применением специально разработанного шейдера. Сравнение изображений когнитивного средства 3-симплекс, полученных с применением предыдущей версии библиотеки (а) и текущей версии библиотеки (б) представлено на рис. 2.

В текущей версии присутствуют некоторые артефакты в отображении, исправление которых планируется вместе с выпуском релизной версии библиотеки. Отметим следующие преимущества текущей версии: возможность работы на различных платформах, отсутствие изломов у прямых линий,

отсутствие артефактов в отображении положений объектов друг относительно друга (сортировка по удаленности от наблюдателя) и более плавная анимация (в интерактивной версии).

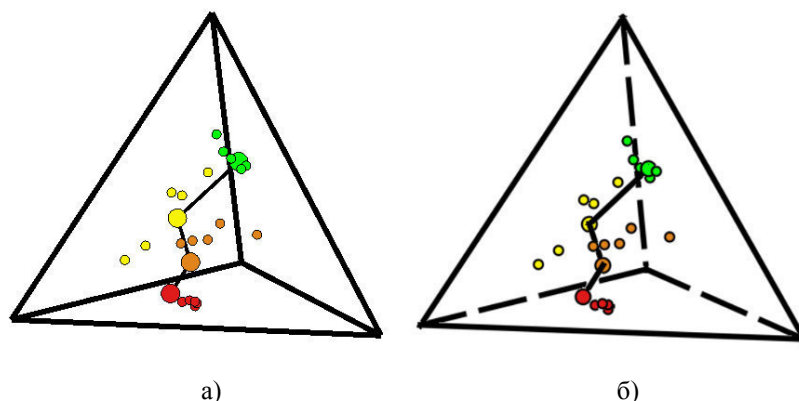


Рис. 2. Сравнение изображений полученных с применением разных версий библиотек

Дальнейшее развитие фреймворка для визуализации когнитивных средств направлено на: исправление артефактов визуализации, реализации всех возможностей предыдущей версии библиотеки, открытие исходных кодов на GitHub и встраивание новых средств визуализации в разрабатываемые интеллектуальные системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Янковская А.Е., Ямшанов А.В. О развитии инвариантных к проблемным областям средств когнитивной графики, их кроссплатформенной программной реализации и их интеграции в интеллектуальные системы (часть 1) [Электронный ресурс] // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник трудов XII Международной конференция студентов и молодых ученых. – Томск, 2015. – С. 717–719. – Режим доступа: http://science-persp.tpu.ru/Previous%20Materials/Konf_2015.pdf. – 29.02.2016.
2. Ямшанов А.В., Янковская А.Е. О развитии инвариантных к проблемным областям средств когнитивной графики, их кроссплатформенной программной реализации и их интеграции в интеллектуальные системы (часть 2) [Электронный ресурс] // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник трудов XII Международной конференция студентов и молодых ученых. – Томск, 2015. – С. 720–722. Режим доступа: – http://science-persp.tpu.ru/Previous%20Materials/Konf_2015.pdf. – 29.02.2016.
3. WebGL – 3D Canvas graphics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://caniuse.com/#feat=webgl>. – 29.02.2016.
4. Electron – Build cross platform desktop apps with web technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electron.atom.io/>. – 29.02.2016.
5. Everitt C. Interactive Order-Independent Transparency [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.eng.utah.edu/~cs5610/handouts/order_independent_transparency.pdf. – 29.02.2016.
6. GlowScript: Technical Issues [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.glowscript.org/docs/GlowScriptDocs/technical.html>. – 29.02.2016.

Научное издание

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

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

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка С.А. Поробова
Редактор Г.А. Воронова, И.А. Курзина

Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического
университета сертифицирована в соответствии с
требованиями ISO 9001:2008
. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru

